

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (bakalářské studium)

Studijní obor: Geografie - kartografie



Ondřej LAGNER

**VYHOTOVENÍ 3D MODELU BÍLÉ VĚŽE V HRADCI KRÁLOVÉ
Z DAT POZEMNÍHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ**

**CREATING 3D MODEL OF THE WHITE TOWER IN HRADEC
KRALOVE FROM TERRESTRIAL LASER SCANNING DATA**

Bakalářská práce

květen 2012

Vedoucí bakalářské práce Ing. Miroslav Čábelka

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citoval.

Jsem si vědom toho, že případné použití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze, je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Praze dne 14. května 2012

.....

Ondřej Lagner

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé práce Ing. Miroslavu Čábelkovi za věnovaný čas, cenné rady a připomínky. Dále bych rád poděkoval zaměstnancům firmy GEOVAP, spol. s.r.o., v první řadě panu RNDr. Vítu Borovičkovi, za vstřícný přístup a ochotu při konzultacích a řešení problémů, panu Ing. Josefu Pazderovi za trpělivost při pořizování dat a Ing. Bohumilu Kouřimovi za zprostředkování a poskytnutí dat. Poté panu Milanu Pavlišovi z Hradecké kulturní a vzdělávací společnosti Adalbertinum za poskytnutí stavební dokumentace k Bílé věži. Také děkuji pánům RNDr. Jakubu Lysákovi a Mgr. Lukáši Brůhovi za vřelé poskytnutí informací. V neposlední řadě děkuji rodině a přátelům za podporu v průběhu celého studia.



Data s laskavým svolením poskytla firma GEOVAP, spol. s r.o. Tato data byla použita výhradně ke studijním účelům a k vytvoření této práce. Nebudou dále šířena, ani jiným způsobem využívána.

Vyhotovení 3D modelu Bílé věže v Hradci Králové z dat pozemního laserového skenování

Abstrakt

Hlavní náplní této práce je zpracování dat z pozemního laserového skenování Bílé věže v Hradci Králové. Data byla zpracována v prostředí různých, k tomuto účelu vhodných grafických softwarů. Během zpracování byly programy porovnány na základě stanovených kritérií. V uživatelsky nejpřijatelnějším a nejvhodnějším programu pro tuto činnost Geomagic Studio 2012 byl poté vytvořen 3D digitální model věže. Pro zhodnocení přesnosti vytvořeného modelu, byl tento model změřen pásmem a byl porovnán se stavební dokumentací Bílé věže.

Klíčová slova: Laserové skenování, Bílá Věž, 3D model,

Creating a 3D model of the White Tower in Hradec Kralove from terrestrial laser scanning data

Abstract

This work is focused on processing data of digital terrestrial laser scanning of The White tower in Hradec Králové city and solving the problems closely connected to this. Data was processed in different graphical softwares, which were specially made for this kind of tasks. During the processing, the softwares were compared according to established criteria. The most useful program Geomagic Studio 2012 was chosen and 3D model of the tower was made in this. To assess the accuracy of the model, it was measured by yardstick, and model was also compared with buildings plan.

Keywords: Laser scanning, White tower, 3D model

OBSAH

Seznam obrázků a tabulek	7
1 Úvod	9
2 Úvod do problematiky	10
2.1 Stručná historie	10
2.2 Fyzikální principy	12
2.3 Laserový skener.....	12
2.4 Usměrnění paprsku	14
2.5 Souřadnicový systém.....	17
2.6 Mračno bodů.....	18
2.7 Vliv geometrie objektu	19
2.8 Skeny	21
2.9 Výstupy.....	21
2.10 Bílá věž	23
3 Data, přístroje a metodika zpracování.....	25
3.1 Mračno bodů.....	25
3.2 Metodika zpracování.....	29
4 Praktická část – Srovnání modelovacích programů	31
4.1 Geomagic Studio 2012	31
4.2 ArcGIS 10	39
4.3 GOM Inspect V7.5	41
4.4 AUTODESK.....	45
4.5 PointCloud CAD 2010	48
4.6 Meshlab v1.3.1	50
4.7 Hodnocení přesnosti modelu	51
5 Diskuze a závěr.....	52
Seznam zdrojů informací	55
Seznam příloh	58

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 Mobilní laserový systém LYNX	11
Obr. 2 Schéma principu měření délky	12
Obr. 3 Schéma principu optického měření délky	13
Obr. 4 Princip rozmítání paprsku zrcadlem	14
Obr. 5 Princip rozmítání svazku odrazným hranoem	14
Obr. 6 Princip rozmítání svazku rotací zdroje	15
Obr. 7 Princip rozmítání svazku pomocí optických kabelů	15
Obr. 8 Princip rozmítnutí svazku pomocí optického elementu	16
Obr. 9 Schématické znázornění prostorové polární metody	17
Obr. 10 Rozdíl mezi geodetickým zaměřením a laserovým skenováním	18
Obr. 11 Dopad světelného záření na obecný povrch	19
Obr. 12 Zkreslené měření na rozhraní dvou ploch	19
Tab. 1 Reflektivita materiálu	20
Obr. 13 Více skenové měření	21
Obr. 14 Porovnání atributů bodů. Intenzita odrazu a RGB informace	22
Obr. 15 Ztráta prostorového vjemu	22
Obr. 16 Bílá věž společně s Chrámem sv. Ducha v Hradci Králové	24
Obr. 17 Schéma stanovisek	25
Tab. 2 Formát dat souboru mračna bodů	26
Obr. 18 Mračno bodů v intenzitě odrazivosti	27
Obr. 19 Laserový skener Illris – 3D	28
Tab. 3 Parametry laserového skeneru	28
Obr. 20 Model věže bez úprav	32
Obr. 21 Detaily horní části věže	33
Obr. 22 Automatická aplikace vyplňování děr	33
Obr. 23 Vyplnění děr	34
Obr. 24 Funkce vyhlazení modelu	34
Obr. 25 Automatické opravy sítě	35
Obr. 26 Porovnání modelů	36
Obr. 27 Promítání snímků	37
Obr. 28 Model věže s promítnutými snímky	38
Obr. 29 Zobrazené mračno bodů	39

<i>Obr. 30 Model věže s významnými body a mračnem bodů věže</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 31 Enormní využití paměti programem.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 32 Oblast zájmu tvoření polygonové sítě</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 33 Trojúhelníková síť římsy věže.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 34 Vyhlazená síť.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 35 Výsledný model římsy Bílé věže.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 36 Import mračna bodů a ovládací prvky</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 37 Načtení modelu římsy věže</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 38 Částečné zaplnění trojúhelníkové sítě.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 39 Zobrazené mračno bodů v prostředí PointCloud CAD 2010.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 40 Vyobrazené významné body s římsou</i>	<i>50</i>

KAPITOLA 1

Úvod

Laserové pozemní skenování je poměrně nová moderní technologie, jejíž využití stále roste. Děje se tak zvláště díky rychlosti, efektivnosti a kompletnosti dat, které je možno touto metodou za zlomek času, v porovnání s ostatními metodami, bezkontaktně pořídit. Právě tyto vlastnosti předurčují tento systém stát se alternativou dosavadních geodetických metod.

Motivací pro sepsání této práce je malé povědomí o této technologii a minimální orientace v prostředí programů na zpracování dat pocházejících z laserového pozemního skeneru mezi odbornou veřejností. Počet prodaných skenerů stále stoupá, zvyšuje se četnost využití těchto přístrojů, avšak stále je rozšířeno pouze minimum informací.

Cílem této práce je v první řadě seznámení se s problematikou laserového skenování, kdy je v rešeršní části představena historie, systém a funkce skeneru, jeho fyzikální vlastnosti a v neposlední řadě i možnosti využití této technologie. Následuje provedení analýzy dostupných programů určených k vyhodnocení a zpracování pořízených dat, kde je kladen důraz na uživatelské vlastnosti systému. Dalším bodem práce je vytvoření 3D modelu Bílé věže v Hradci Králové z mračna bodů, právě v jednom z testovaných softwarů. V poslední části této práce je k nalezení nejen porovnání modelu se skutečností a stavební dokumentací, ale i zhodnocení přesnosti vytvořeného modelu.

KAPITOLA 2

Úvod do problematiky

2.1 Stručná historie

Historie této velmi moderní technologie sahá do konce 80 let, kdy samotné přístroje, umožňující laserové skenování fyzicky existovaly, avšak z důvodu vysoké ceny, uživatelské nepřívětivosti a problematické finanční návratnosti se vystavovaly prakticky pouze na výstavách. Tomuto nepřispívalo ani množství datových struktur odlišujících se od, v té době, běžně využívaných geodetických a fotogrammetrických metod.

(Pavelka, Hodač 2008)

Velký přelom v oblasti bylo nalezení možnosti, jak transformovat naměřená data do rozhraní CAD (computer aided design – počítačové projektování a navrhování) programů. Díky tomuto a technologickému pokroku ve vývoji součástí skeneru, jako např. zařízení na velmi přesné měření doby letu laserového paprsku, našla tato metoda širokého uplatnění. Na tuto skutečnost poukazuje dle Pavelky et al. (2008) i počet neoficiálních referátů z oblasti 3D skenování na světových akcích ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) a CIPA (Industrial committee for Documentation of Cultural Heritage)

- 1996: 18 kongres ISPRS (Vídeň): 2 příspěvky (pouze letecké metody)
- 2000: 19. Kongres ISPRS (Amsterdam): 11 příspěvků
- 2004: 20. Kongres ISPRS (Istanbul): 22 přímých referátů, celkem cca 70x citováno „laser scanning“ jako klíčové slovo
- 2007: 21. Symposium CIPA: prakticky polovina referátů se zabývala 3D skenováním

Obdobný vývoj lze pozorovat i na území České republiky, kde se první skenery objevily na přelomu tisíciletí. V roce 2003 se již jednalo o tři kusy pozemních skenerů. Počet i nadále stále stoupal, v roce 2007 se již přiblížil kusům dvaceti, jejich rozšířenost se i díky klesající ceně rychle rozrůstala a tento trend pokračuje. (Pavelka, Hodač 2008)

K dnešnímu dni (2012) se v Česku pohybuje i jedinečný vůz s mobilním laserovým systémem LYNX, provozovaný firmou GEOVAP, spol. s r.o. , který je téměř revolucí v oblasti mapování terénu. Zobrazen je na obrázku 1.



Obr. 1 Mobilní laserový systém LYNX (zdroj: foto firmy GEOVAP)

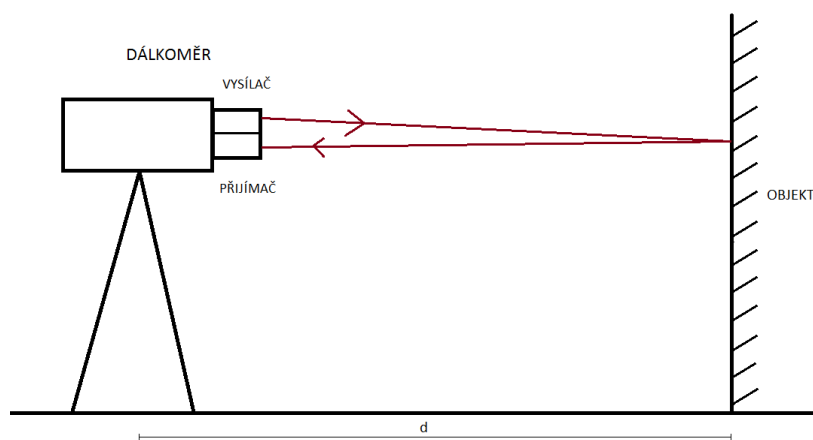
2.2 Fyzikální principy

Podle definice Kašpara et al. (2003): „je laser z fyzikálního hlediska kvantově elektronický zesilovač elektromagnetického záření nejčastěji v oblasti viditelného světelného spektra a přilehlých vlnových délek.“ Vrbová (1994) doplňuje: „Laserové záření je nezávislé na typu laseru i konkrétních technických datech, je ve vysoké míře monochromatické, koherentní, intenzivní a s využitím doplňující optické soustavy vysoce směrové.“ V dnešní době jsou u laserových skenovacích systémů využívány zdroje záření především polovodičové, namísto např. chemických, kapalinových, pevných a pod. Výhodou těchto zařízení je jejich kompaktnost, možnost přeladění v širokém spektrálním pásmu, nízká spotřeba elektrického proudu, vysoká účinnost a v neposlední řadě malé rozměry. Toto je ovšem vykoupeno rozbíhavostí generovaného záření a teplotou polovodiče, které ovlivňuje výsledné parametry záření. Těmito zařízeními emitované záření může být jak v neviditelné části spektra (718 – 815 nm), tak i v části spektra viditelného.

(Kašpar et al. 2003)

2.3 Laserový skener

Princip laserového skeneru je založen na zdroji laserového záření, usměrňovací optice (dle Pavelky 2008 tzv. skenovacímu mechanismu) a přijímači, který dokáže přijmout a rozpoznat vlastnosti odraženého zpětného paprsku od měřeného předmětu. „V současné době nejpoužívanější typ odrazu přímo od předmětu se nazývá pasivním“ (Kašpar et al. 2003). Vysílač i přijímač je ve většině případů součástí dálkoměru.



Obr. 2 Schéma principu měření délky (zdroj: Kašpar et al. 2003)

Z podstaty věci vyplývá, že právě tato část je nejdůležitější částí skeneru. Jeho správná funkce ovlivňuje celé měření proto je snaha, aby výpočet vzdálenosti od přístroje k předmětu byl co nejpřesnější.

Podle principu měření se elektronické dálkoměry dělí na impulsní, fázové a frekvenční. Nejvíce rozšířený je dálkoměr impulsní, který je založen na měření času od vyslání paprsku do přijmutí paprsku odraženého. Vzdálenost předmětu je poté polovina naměřeného času násobená rychlostí, která se u elektromagnetických vln blíží $3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$. Tento princip je nejjednodušší, avšak nároky na přesné měření tranzitního času jsou velmi velké. Tuto skutečnost dokládá fakt, že u blízkých předmětů je čas velice krátký. Například pro předmět vzdálený 30 m je čas pouze $2 \times 10^{-7} \text{ s}$. (Kašpar et al. 2003).

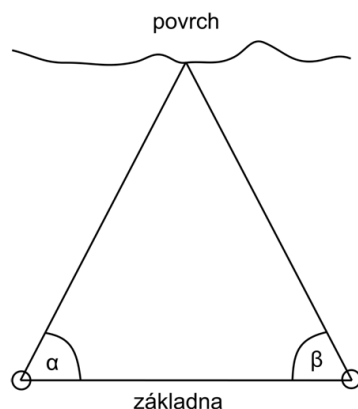
V druhém případě fázového dálkoměru je vyslán paprsek, který je tvořen harmonickou vlnou a vzdálenost k předmětu je vypočtena jako fázový rozdíl mezi vlnou vyslanou a přijatou.

(Pavelka, Hodač 2008)

Posledním typem elektronického dálkoměru je dálkoměr frekvenční. Ten je založen na určení rázu časově posunuté vlny. Na základě toho je možno dopočítat vzdálenost předmětu. (Kašpar et al. 2003)

Alternativním způsobem jak měřit vzdálenost předmětu bez využití elektronického dálkoměru, je použití optického měření délky (Kašpar et al. 2003).

Pavelka, Hodač (2008) pro toto označení používá výrazu „Triangulační princip“. Tato metoda je postavena na řešení obecného trojúhelníku, jak je patrné z obrázku 3. Pokud známe velikost základny a dva úhly přiléhající základně je snadné dopočítat vzdálenost předmětu. Limitujícím faktorem je však velikost základny. Vzhledem k tomuto faktu a ke klesající přesnosti při měření vzdálených objektů nachází tato metoda uplatnění při měření na velmi krátkou vzdálenost.

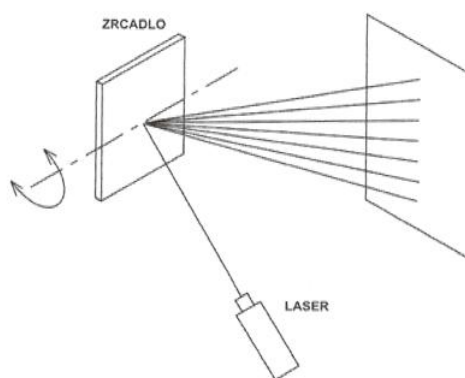


Obr. 3 Schéma principu optického měření délky (zdroj: překresleno dle Kašpara 2003)

2.4 Usměrnění paprsku

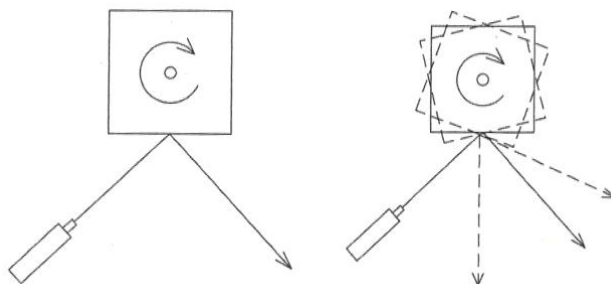
Paprsek emitovaný vysílačem, je primárně paprskem přímým, bez nemožnosti nasměrování tohoto paprsku jinak než fyzickým posunutím či pootočením vysílače. Vzhledem k nepraktičnosti tohoto procesu se k vychylování paprsku využívá různých rozmítacích metod. Kašpar et al. (2003) ve své publikaci uvádí pět metod následujících.

První možností je vychylování paprsku pomocí zrcadla. Paprsek dopadá na zrcadlo, které je možno otáčet v jednom směru. Tímto je vytvořen svazek přímek ležících v rovině, jak je patrné z obrázku 4 (Kašpar et al. 2003). Pokud bychom přidali ještě jedno zrcadlo vychylující se v i v druhém směru, případně zrcadlo první vychylovali ve dvou osách, bylo by docíleno vychylování paprsku ve dvou směrech.



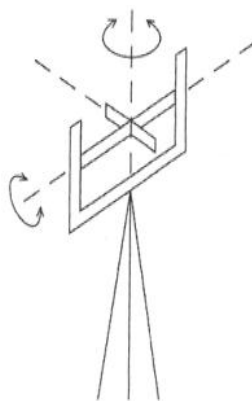
Obr. 4 Princip rozmítání paprsku zrcadlem (zdroj: Kašpar et al. 2003)

Druhou možností je princip rozmítání laserového paprsku pomocí rotujícího optického odrazného hranolu. Tvar takového hranolu je pravidelný n -úhelník, kdy normálou hranolu je osa rotace. (Kašpar et al. 2003) Příklad hranolu je zobrazen na obrázku 5. U takového přístroje je spárována frekvence vysílaného paprsku s rychlostí otáčení, což v praxi znamená, že známe přesný úhel odraženého paprsku.



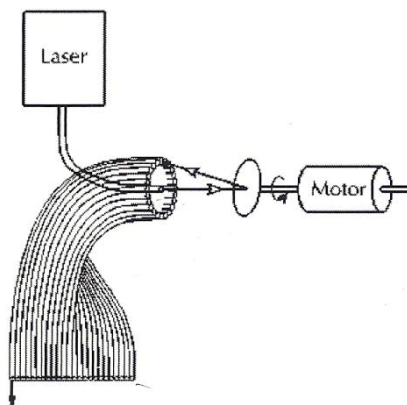
Obr. 5 Princip rozmítání svazku odrazným hranolem (zdroj: Kašpar et al. 2003)

Velmi podobný způsob rozmítání jako u prvního principu za použití dvou zrcadel natáčených ve dvou osách je použit u způsobu třetího. Pouze s tím rozdílem, že zde nejsou natáčena zrcadla, ale přímo celý zdroj záření viz obrázek 6. Obdobný způsob je použit dle Kašpara et al. (2003) „u koaxiálního laserového dálkoměru motorizované totální stanice“.



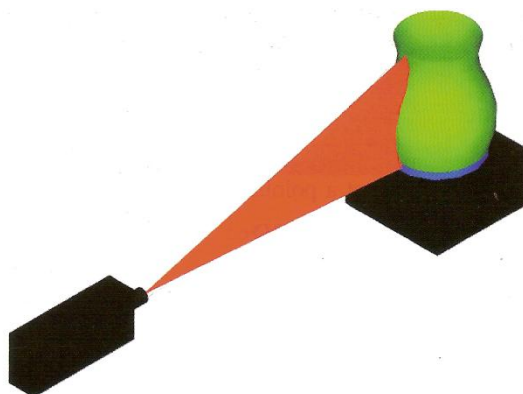
Obr. 6 Princip rozmítání svazku rotací zdroje (zdroj: Kašpar et al. 2003)

Poslední dva příklady jsou využívány minimálně, zvláště u skenerů zjišťujících krátké vzdálenosti. Jedním příkladem je rozmítání pomocí soustavy optických kabelů, které jsou uspořádány pod námi požadovaným úhlem. Do takto uspořádaných kabelů je paprsek od zdroje usměrňován pomocí zrcadla, jak je ilustrováno na obrázku 7. (Kašpar et al. 2003)



Obr. 7 Princip rozmítání svazku pomocí optických kabelů (zdroj: Kašpar et al. 2003)

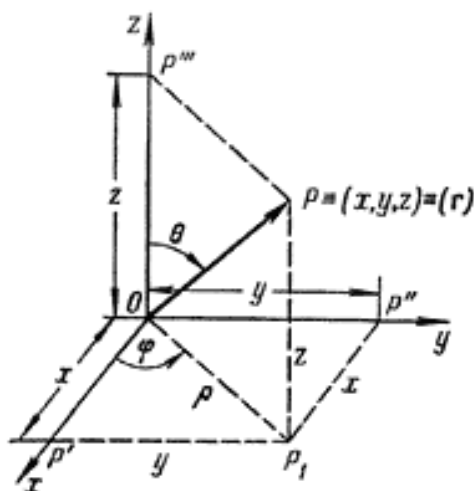
V posledním případě jsou paprsky usměřňovány statickým optickým elementem, který vytváří v prostoru výseč světelné roviny. Znázornění tohoto je na obrázku 8.



Obr. 8 Princip rozmítnutí svazku pomocí optického elementu (zdroj: Kašpar et al. 2003)

2.5 Souřadnicový systém

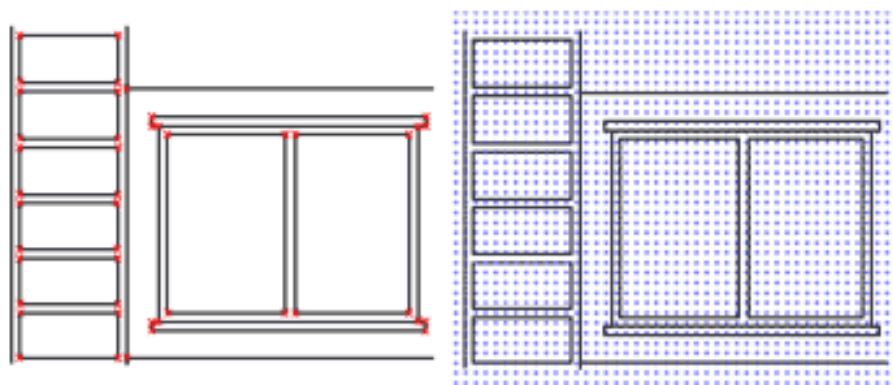
Základním souřadnicovým principem laserového skeneru je prostorová polární metoda schematicky zobrazené na obrázku 9. K určení souřadnic bodu P je nutno znát délku průvodiče r (přístrojem měřená vzdálenost) a úhly θ , φ . Tyto úhly je možno zjistit například z polohy zrcadel, které rozmítají paprsek. Pokud vzdálenost není měřena přímo, lze je dopočítat opticky ze vzdálenosti základny a k ní přilehlých úhlů, viz Triangulační princip. Výsledkem jsou souřadnice X, Y, Z objektu v souřadnicovém systému skeneru, který je obecně orientován a umístěn. (Kašpar et al. 2003).



Obr. 9 Schématické znázornění prostorové polární metody (zdroj: Kašpar et al. 2003)

2.6 Mračno bodů

V porovnání s geodetickými metodami je laserové skenování neselektivní metodou měření. Dle Luhmanna (2002) jsou u geodetických metod včetně fotogrammetrie pro následné modelování zjišťovány souřadnice vybraných charakteristických bodů objektů, jako například hrany, vrcholy a pod. Oproti tomu u skenování jsou body rozmístěny neselektivně v pravidelném rastru. Nejsou tedy obecně měřeny charakteristické body. Ty je poté nutno získat modelováním. Tuto skutečnost dokládá obrázek 10.



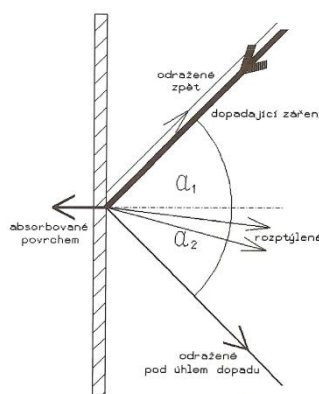
Obr. 10 Rozdíl mezi geodetickým zaměřením (vlevo) a laserovým skenováním (vpravo)

(zdroj: Kašpar et al. 2008)

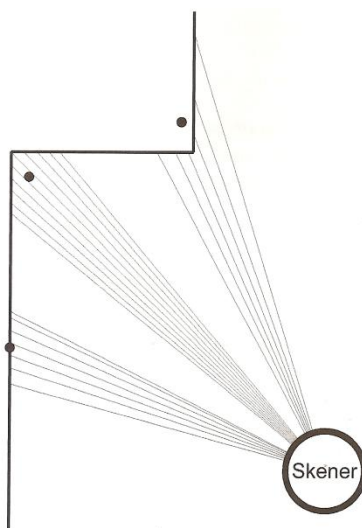
Z výše uvedených skutečností vyplývá, že výstupem je velké množství bodů. Toto množství je nazýváno Mračno bodů. Vzhledem k faktu, že skener pracuje s obecným souřadnicovým systémem je možno provést, pomocí vlíčovacích bodů, prostorové transformace. Jako vlíčovací body mohou posloužit významné, charakteristické body na objektu. Pro větší přesnost jsou však používány standardní geodetické značky případně geodetické kříže, půlkruhy, kruhy. Největší přesnost však mají značky s vyšší reflexivitou než okolní povrch. Tyto jsou pak ve výsledném mračnu bodů mnohem patrnější.

2.7 Vliv geometrie objektu

Klíčovým prvkem pro přesné měření je správné zaznamenání odraženého zpětného paprsku přístrojem. Jedná se například o problematiku měření na roviny cíle jejíž normála není rovnoběžná s dráhou svazku. Pokud je odchylka blízká 90° nedochází k odrazu zpět ke skeneru. Druhým problémem je neideálnost samotného laserového paprsku. Paprsek má určitý průměr. Právě tato šířka svazku, pokud dopadne na rozhraní ploch způsobí, že je zaznamenána hodnota průměrné vzdálenosti dopadu celého svazku. Tyto dva nedostatky jsou znázorněny na obrázcích 11 a 12. (Kašpar et al. 2003)



Obr. 11 Dopad světelného záření na obecný povrch (zdroj: Kašpar et al. 2003)



Obr. 12 Zkreslené měření na rozhraní dvou ploch (zdroj: Kašpar et al. 2003)

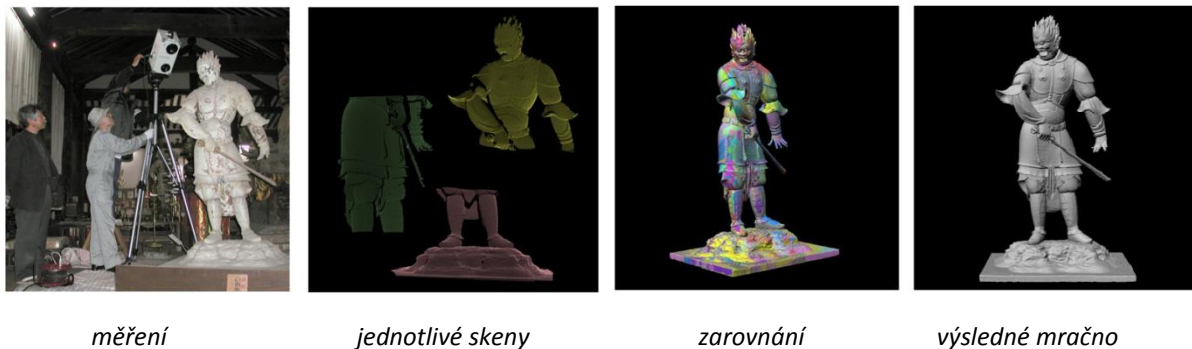
Kvalita výsledku velkou měrou závisí také na schopnosti objektu odrážet optické záření. To souvisí s fyzikálními vlastnostmi záření, jako je vlnová délka, polarizace; s vlastnostmi materiálovými, jako je barva, odrazivost; a v neposlední řadě i na drsnosti povrchu. K pro nás nejdůležitějšímu, zpětnému odrazu dochází pouze při difúzním odrazu, jak je znázorněno výše na obrázku 11. V tabulce 1 jsou proto uvedeny reflektivity určitých materiálů v %. Hodnota 100% odpovídá ideální hodnotě dokonalého difúzního odrazu. Hodnoty jsou platné pro 900 nm vlnové délky.

Tab. 1 Reflektivita materiálu (zdroj: Riegl)

Materiál	Reflektivita (%)
Bílý papír	do 100
Stavební dřevo	94
Sníh	80 - 90
Bílé zdivo	85
Jíl, vápenec	do 75
Potíštěný novinový papír	69
Listnaté stromy	60
Plážový, pouštní písek	50
Jehličnaté stromy	30
Hladký beton	24
Asfalt s oblázky	17
Láva	8
Černý neoprén	5

2.8 Skeny

Při měření objektu je velmi těžko realizovatelné, často až nemožné, naskenovat celý objekt během jednoho skenování. Laserové skenování umožňuje pořídit více skenů z různých stanovišť, které se následně v rozhraní k tomu určených softwarů spojí v jedno finální mračno bodů. Názorný postup ze skenování sochy Basara z chrámu ve městě Nara v Japonsku je ukázán na obrázku 13.



Obr. 13 Více skenové měření (zdroj: Takase 2010)

2.9 Výstupy

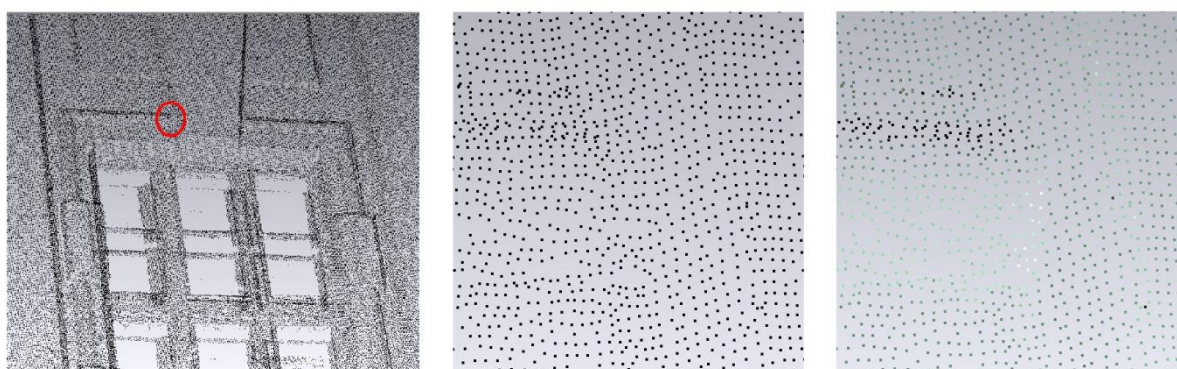
Nejrozšířenějším způsobem, dle Kosky (2009) „je zpracování dat pouhé ponechání měření v podobě mračna bodů, ze kterého byly odstraněny přebytečné, pro projekt nepotřebné body.“ Toto je umožněno skutečností, že mračno bodů v dostatečné hustotě má vyhovující vypovídající hodnotu. Dále může každý bod mračna obsahovat dodatečnou informaci. Buď to může být hodnota intenzity odrazu laserového paprsku převedená do stupně šedi, nebo RGB informace získaná z fotografie. (GEOVAP 2010). Rozdíl takto odlišených mračen bodů je patrný z obrázku 14.



Obr. 14 Porovnání atributů bodů. Intenzita odrazu (vlevo) a RGB informace (vpravo)

(zdroj: GEOVAP)

Na druhou stranu problémem prostého mračna bodů je ztráta prostorového vjemu v případě velkého přiblížení. Prokazatelné z obrázku 15. Redukci tohoto jevu je možné eliminovat stínováním. Dalším nedostatkem je nemožnost zvolení bodu mimo zaměřené a zobrazené body. V této situaci je nutno použít nejbližší bod. Tuto odchylku je nutné zahrnout do výsledného protokolu přesnosti zpracování. (Koska 2009)



Obr. 15 Ztráta prostorového vjemu. Oblast detailu (vlevo), detail (uprostřed), zvýraznění stínováním (vpravo) (zdroj: Koska 2009)

Tyto zmiňované nedostatky lze odstranit pomocí stereoskopického zobrazení v programech, které podporují anaglyfické, či jiné prostorové zobrazení. Díky stereoskopickému vyhodnocení je možno vybírat přímé body v prostoru mimo původní body. Množství softwarů, které by toto podporovaly je však velmi omezené. (Koska 2009)

Kromě výstupu v podobě mračna bodů je možné pracovat s dalšími formami zobrazení. Prvním z nich je model tvořený trojúhelníkovou sítí. Vygenerovanou síť je ve většině případů nutno ručně editovat. Předností této sítě je to, že ani při úplném přiblížení nedochází ke ztrátě efektu stínovaného modelu. Pro prezentaci prvků stačí výrazně nižší

počet prvků. Na trojúhelníkovou síť je také možno aplikovat textury. Druhým, v praxi nejméně využívaným, modelem je modelování pomocí geometrických primitiv. Geometrická primitiva jsou jednoduché, geometrické útvary např. válec, přímka, rovina. Takto vytvořené modely jsou minimálně datově náročné. Nevýhodou je naopak časově náročné zpracování. (Koska 2009).

2.10 Bílá věž

Původně 48 m vysoká Bílá věž v Hradci Králové nebyla postavena jako věž kostelní, nýbrž jako věž strážní a požární. Základní kámen byl položen 7. června roku 1574 uprostřed západní strany Velkého náměstí, na základech původní stavby z roku 1509. Tato věž byla postavena z milodarů obyvatel za vlády primase Martina Cejpa z Peclínovce. Stavba věže byla ukončena v roce 1581. Důvodem dlouhé výstavby byla i 5-ti letá stavební přestávka z důvodu finančních nedostatků. Věž má půdorys 10 x 10 m a výšku 71,5 m. V přízemí jsou 4 m široké zdi. Podle charakteristické bílé barvy hořického pískovce, jakožto použitého stavebního materiálu, dostala věž své jméno Bílá. Věž původně byla skutečně úplně bílá. Poslední velké úpravy se konaly v roce 1840, kdy bylo k dominantě přistavěno 20 m výšky. (Bílá věž 2012)

V pátém patře se nachází ochoz, ze kterého je za jasného počasí vidět jak centrum města Hradce Králové, tak především Krkonoše, bojiště na Chlumu, Dobrošov, Orlické hory, Kunětická hora. Jižním směrem poté například Českomoravská vrchovina. (Ivo-turista 2011)

Zajímavostí věže je instalace druhého největšího věžního zvonu v Čechách, zvonu Augustin. Výška zvonu je 169 cm, šířka 206 cm a váha necelých 10 tun. Zasvěcen byl již roku 1705. (Ivo-turista 2011)

Vedle Bílé věže stojí gotický katedrální kostel sv. Ducha, nejvýznamnější památka města. Datace objektu sahá k roku 1378. Tato stavba společně s věží tvoří nezaměnitelné dominanty města Hradce Králové.



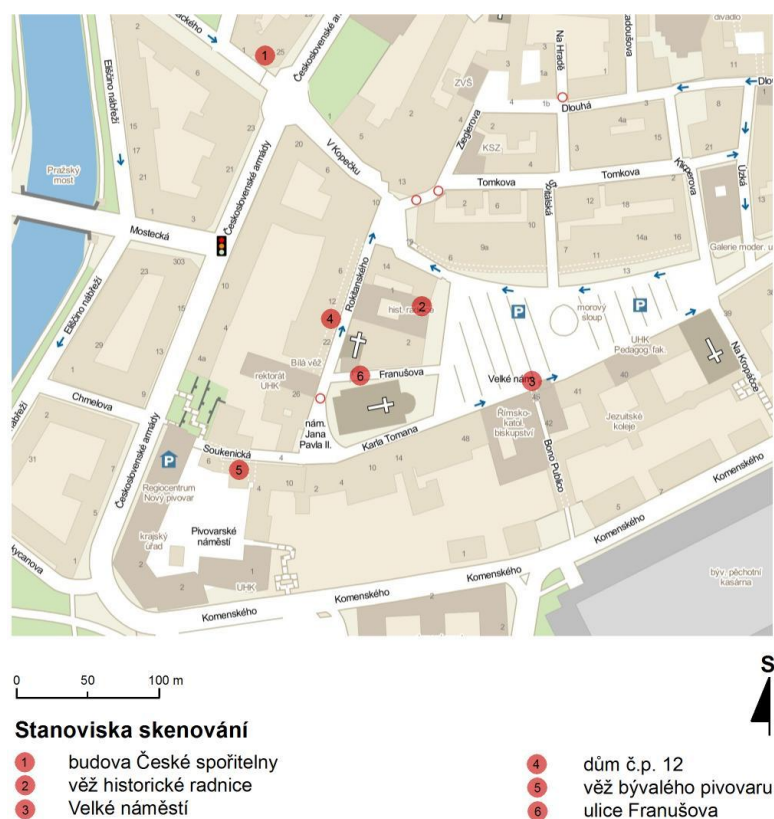
Obr. 16 Bílá věž společně s Chrámem sv. Ducha v Hradci Králové (zdroj: www.wikipedia.cz)

KAPITOLA 3

Data, přístroje a metodika zpracování

3.1 Mračno bodů

Mračno bodů z pozemního laserového skeneru bylo pořízeno firmou GEOVAP s.r.o. 23. 7. 2010 jako podklad pro památkovou péči města Hradce Králové. Měření bylo provedeno pod vedením pana Josefa Pazdery za mé přítomnosti na pozici asistenta. Počasí bylo tohoto dne oblačné, beze srážek. Teplota kolem 21° C. Samotné měření probíhalo z šesti stanovišek, jak dokládá přiložené orientační schéma. Z Velkého náměstí, ze severní radniční věže, z pivovarské věže, ze střešních prostor v mezidomí blízkých budov, ze střechy budovy České spořitelny a z místa mezi chrámem Svatého Ducha a Bílou věží. Zvláště ze stanoviště mezi chrámem a věží musela být věž skenována na dvakrát z důvodu velkého zorného vertikálního úhlu. Jednotlivá stanoviška jsou vyobrazena na obrázku 17.



Obr. 17 Schéma stanovišek (zdroj mapového podkladu: mapy.cz)

Všechna jednotlivá mračna z jednotlivých stanovisek musela být registrována do jednoho mračna v programu dodávaném se skenerem Pointools, tento program se mi bohužel k otestování tvorby modelu sehnat nepodařilo. Nebyla nalezena verze k bezplatnému vyzkoušení. Z takto upraveného mračna bodů bylo nutno odmazat nežádoucí body a šumy. Výsledné mračno, naznačení formátu je zobrazeno v tabulce 2, obsahuje 28 398 971 bodů v souřadnicovém systému přístroje ve formátu XYZ a intenzitu odrazu. Zobrazené mračno bodů v intenzitě odrazivosti zobrazuje pro ilustraci obrázek 18.

Tab. 2 Formát dat souboru mračna bodů (zdroj: vlastní tvorba)

BV_full.xyz				
-8.668	36.658	48.791	28	
-6.660	40.130	49.409	29	
-6.659	40.142	49.373	43	
-6.675	40.097	49.386	58	
-6.647	40.090	49.385	73	
-6.664	40.077	49.398	87	
-6.662	40.115	49.365	87	
-6.655	40.068	49.400	58	
-7.559	38.953	49.149	29	
-7.561	38.958	49.142	43	
-7.614	38.923	49.148	43	
-8.496	38.472	48.930	71	
-8.481	38.478	48.909	86	
-8.490	38.450	48.942	100	
-8.506	38.430	48.925	114	
-8.537	38.405	48.942	100	
-8.490	38.386	48.914	100	
-8.504	38.393	48.924	86	



Obr. 18 Mračno bodů v intenzitě odrazivosti (zdroj: vlastní tvorba)

Mračno bodů bylo pořízeno přístrojem kanadské firmy Optech laserovým skenerem ILRIS - 3D, na obrázku 19, jehož parametry jsou uvedeny v tabulce 3. Tento přístroj byl umístěn na trojnohém stativu v místech, kde to okolní prostředí umožňovalo. Na druhou stranu v místech s minimem prostoru a nakloněné ploše střechy, byl přístroj položen pouze na pevné podložce. Vzhledem k relativním souřadnicím přístroje nemusí být přístroj umístěn ve vodorovné poloze. V případě měření z bezprostřední vzdálenosti byla na stativ upevněna podložka, která ve spojení s přístrojem umožňovala náklon přístroje tak, aby výsledkem byly bezešvé skenovací plochy. (Laserové skenování GEOVAP 2010).



Obr. 19 Laserový skener Ilris – 3D (zdroj: GEOVAP)

Tab. 3 Parametry laserového skeneru (zdroj: GEOVAP)

Technické parametry	ILRIS-3D	ILRIS-HD
Dosah při 80% odrazivosti ¹	1700 m	
Rychlost skenování	2 500 až 3 500 Hz	10 000 Hz
Přesnost měření délek ²	7 mm @ 100 m	
Přesnost měření průměrovaných délek ^{2,3}	---	3-4 mm @ 100 m
Úhlová přesnost	8 mm @ 100 m (80 μrad)	
Zorné pole, ILRIS-3D/HD	40° x 40°	
Zorné pole, varianta ILRIS-36D	-20° až 90° x 360°	
	-90° až 20° x 360°	
Minimální krok ⁴	0,001146° (20 μrad)	0,000745° (13 μrad)
Maximální hustota bodů	2 mm @ 100 m	1,3 mm @ 100 m
Vlnová délka laseru	1535 nm	
Třída nebezpečnosti laseru ⁵	1	1M
Integrovaná kamera	High-Res Digital 3,1 Mpix	

¹ Varianta ILRIS-3D-ER a ILRIS-HD-ER² Všechny přesnosti jsou 1 sigma, dle testování spol. Optech³ Průměr minimálně ze 4 měření⁴ Možnost volby vertikálního a horizontálního kroku nezávisle na sobě⁵ Dle IEC 60825-1 a US FDA 21 CFR 1040

3.2 Metodika zpracování

Cíle praktické části této práce byly vytyčeny následující:

1. Srovnání programů pro tvorbu 3D modelů z dat laserového pozemního skenování
2. Vytvoření 3D modelu Bílé věže v Hradci Králové v uživatelsky nejpříjemnějším programu.
3. Zaměření skutečného stavu věže pásmem a porovnání s vytvořeným modelem.

Prvotním záměrem byla orientace v prostředí a pořízení programů vhodných ke zpracování mračna bodů. K tomu byla využita publikace Fotogrammetrie 3 (Pavelka, Hodač 2008), kde jsou uvedeny vhodné programy pro zpracování dat. Dalšími zdroji inspirace pro programy byly již zpracované práce na modelaci laserových dat a v neposlední řadě internetové fórum zabývající se touto problematikou komplexně na <http://www.laserscanning.org.uk>. Pro získání plnohodnotných informací je nutná registrace uživatele.

Při hledání vhodných programů byl kladen důraz na volné, takzvané free, nebo opensourcové programy. Tedy volně stažitelné programy bez licenčních omezení v případě nekomerčního využití. Z důvodu minimálního množství programů, které by umožňovaly i pokročilejší činnost než zobrazení bodů, bylo od hledání volných programů upuštěno. Vhodnější cestou bylo získávání programů v třicetidenních zkušebních licencích. Tyto verze se vyznačují jako plnohodnotné, s omezením na ukládání pouze ve formátu podporovaném právě testovaným softwarem. Funkce programu však omezeny nejsou. U takovýchto licencí, při uvedení důvodu, většinou není problém po uplynutí 30 denní zkušební lhůty tuto dobu resetovat po kontaktování uživatelské podpory programu. Bohužel se ale nejedná o pravidlo. Některé softwarové platformy nabízejí takzvané studentské verze, kdy uživatel po registraci obdrží plnou verzi programu, kde je při exportu výkresem proložen vodoznak umožňující identifikaci studentské nekomerční verze.

Instalace programů proběhla ve všech případech s výjimkou jednoho na přenosný počítač Hewlett Packard Pavilion dv7 s operačním systémem Windows 7 Ultimate 64 bitů. Přístroj disponuje procesorem Intel Core 2 Duo 2, 27 GHz, pamětí RAM 4, 00 GB a grafickou kartou ATI Mobility Radeon HD4650.

Při porovnávání programů byl kladen důraz na průběh instalace, hardwarovou náročnost, na typy podporovaných formátů mračen bodů, jednoduchost a intuitivnost

ovládání. Vzhledem ke skutečnosti, že jsem se aktivně setkal pouze s programem ArcGIS, české rozhraní programů velmi ulehčilo seznamování se s programem a následující práci s ním. Dále byl kladen důraz na uživatelskou podporu programu, způsob nápovědy, výuková videa či přímé kontaktování elektronickou poštou ze strany distributora programu.

Pro zhodnocení přesnosti modelu byla nakonec zvolena metoda porovnání modelu věže se skutečností a s dostupnou stavební dokumentací. V prvním případě byla věž zaměřena katedrálním pásmovým metrem délky 50 m, dne 8. 5. 2012. Počasí toho dne bylo slunečné s teplotou vzduchu kolem 25 °C. Limitujícím faktorem měření pásmem byla neschopnost měření vertikálních vzdáleností, které byly mimo dosah. Proto byly převážně změřeny horizontální délky a předměty menších rozměrů jako jsou okna či dveře. Byly měřeny jak exteriérové tak interiérové hodnoty. Přes veškerou snahu, počet naměřených hodnot nebyl velký. Například měření velkého okna nebylo možné ani z vnitřních prostorů věže. Pro představu, okno má rozměry blížící se 8 m x 4 m. často bez bezprostředního přístupu a toto není možné pásmem měřit. Bylo nutné tuto metodu doplnit a rozšířit o získání informací ze stavební dokumentace. Toto mi bylo umožněno po kontaktování pana Milana Pavliše, vedoucího provozně technického oddělení Hradecké kulturní a informační společnosti Adalbertinum. Po sjednání schůzky, jsem obdržel kompletní stavební dokumentaci k věži, která byla k dispozici na oddělení. Pro další dokumentaci by bylo nutno navštívit hradecký archiv. Tam je ovšem přístup velice omezený. Jako nejvhodnější dokumentací byly vyhodnoceny plány k rekonstrukci věže z roku 1983. Tyto nabízeli nejucelenější část požadovaných schémat. Byly vybrány 3 pohledy na věž - západní, jižní a východní. Všechny tři byly v měřítku 1:50. Z těchto plánů byly odměřeny hodnoty jak pro výšku, tak pro šířku jednotlivých prvků. Celkem bylo změřeno na každém plánu zhruba 20 hodnot. Takto ucelený soubor měření bylo již možno plně použít k porovnání přesnosti vytvořeného modelu Bílé věže v Hradci Králové.

Měřené hodnoty byly zaokrouhleny na centimetry, vzhledem k nemožnosti měřit na přesnost v řádech milimetrů. Toto bylo znemožněno zvláště zaoblenými hranami rohů a průhyb pásma zvláště při měření dlouhých vzdáleností. Program Geomagic Studio 2012, ve kterém byly měřeny hodnoty modelové, měří s přesností na tisíce metru, avšak tam byly hodnoty také zaokrouhleny na desetiny, z důvodů roztřepených hran modelu, zaoblených rohů, nejednoznačnosti určených bodů.

Směrodatná odchylka byla vypočtena ze vzorce:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

KAPITOLA 4

Praktická část – Srovnání modelovacích programů

4.1 Geomagic Studio 2012

Program Geomagic Studio 2012 byl vytvořen americkou firmou Geomagic, která byla založena roku 1997. Tato společnost se specializuje na převod dat z laserového skenování do 3D modelového prostředí. Samotný program však nabízí i ostatní komplexní funkce, známé z prostředí CAD systémů pro vytváření, zpracování a modelace předmětů. (Geomagic 2012)

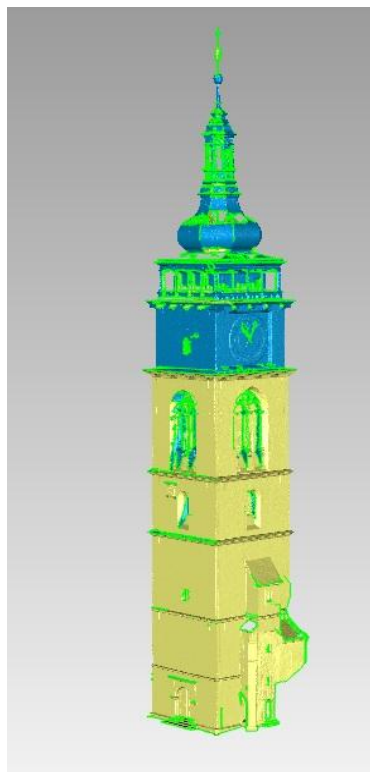
Program byl stažen přímo ze stránek výrobce s omezenou 30 denní licencí plné verze. Po úspěšné instalaci program překvapil kompletním českým prostředím. Tuto skutečnost hodnotím velmi kladně, jelikož se jedná o první zkušenost s tímto softwarem a čeština poznávání funkcí velmi usnadňuje. Při prvotním spuštění má uživatel na výběr, zda chce pracovat s plnou verzí programu nebo s pro začátečníky doporučenou verzí, pouze s nejčastěji používanými funkcemi. Samotná práce s programem je i tak velmi intuitivní, vše je na svém místě tam, kde by to uživatel očekával. V dolní části programu se nachází lišta, mimo jiné s časovou osou, na které jsou zobrazovány všechny operace. Uživatel tak má přehled v jakém stavu se operace nachází a kolik času zbývá do ukončení příkazu či zda program stále pracuje.

Mračno bodů se nahraje jednoduše příkazem otevřít v nabídce na hlavní liště. Program podporuje mnoho formátů mračen bodů. V mém případě byl použit formát základní s příponou .xyz.

Jako prohlížeč mračna bodů tento program vhodný není z důvodu splynutí bodů do jedné černé hmoty, ze které je patrný pouze obrys zobrazovaného předmětu. Do programu bylo nahráno všech 28 398 971 bodů. Program je schopný vytvořit trojúhelníkový model pouze z maximálně 10 mil. bodů. Pravděpodobně omezeno licencí. K eliminaci bodů byla použita funkce Redukce bodů, zvolena možnost, kdy jsou zachovány body v členitých částech modelu. Naopak v plochých částech jsou body odmazány. Ve výsledku bylo zachováno 32 % všech bodů, což je hodnota, která byla zadána, aby se počet bodů eliminoval pod hodnotu 10 mil.

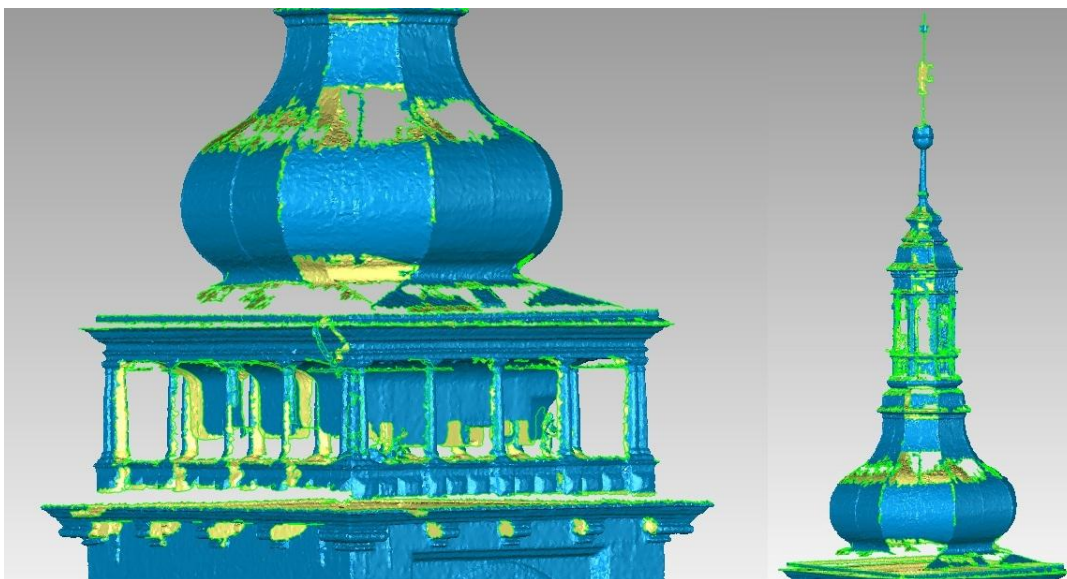
S takto upraveným mračnem je možno přejít k modelování trojúhelníkové sítě věže. K tomu je určená funkce Wrap. Primárně je nastaveno 2,5 milionů bodů, toto

množství bylo sníženo na 2 miliony. Toto číslo je zcela dostačující vzhledem k následujícím úpravám, které sít' dále redukuje. Výsledný model, tak jak byl vytvořen programem, je zobrazen na obr. 20 a je složen z 1 999 999 trojúhelníků.



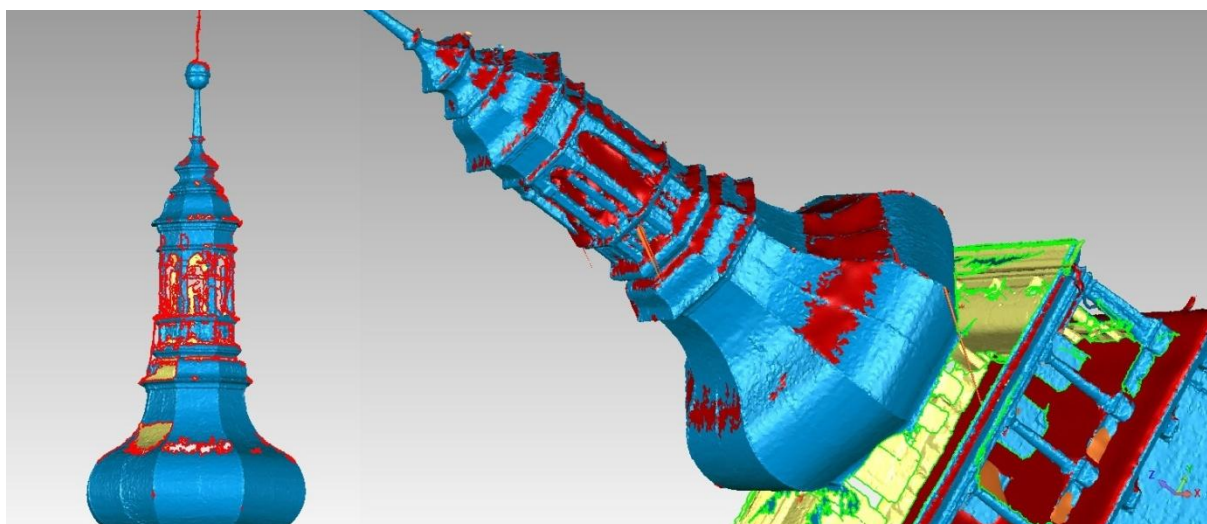
Obr. 20 Model věže bez úprav (zdroj: vlastní tvorba)

Na první pohled jsou na modelu patrné dvě věci. První z nich je různobarevnost modelu – modrá a žlutá barva. Žlutá barva značí vnitřní stěny. K této záměně došlo špatným vyhodnocením normál ploch při výpočtu modelu. Tato skutečnost byla pozorována při tvorbě modelu z více než 8 mil. měřených bodů. Při nižší množství bodů byly normály vypočteny správně, kvalita a přesnost modelu byla však o poznání nižší. Byl proto zvolen tento model a následné vypočítání správné orientace plošek. Druhým problémem je veliké množství děr ohraničených světle zelenou barvou v oblastech, kde chybí data. Věž byla snímána z valné části z úrovně základů věže proto se největší nedostatky projevují v horních částech věže. Sklon kopule a měděná krytina věže znemožnily správný odraz paprsku zpět k přijímači. Zde se proto nacházejí díry největší. Toto dokládají detaily ochozu věže a zvoničky obrázku 21.



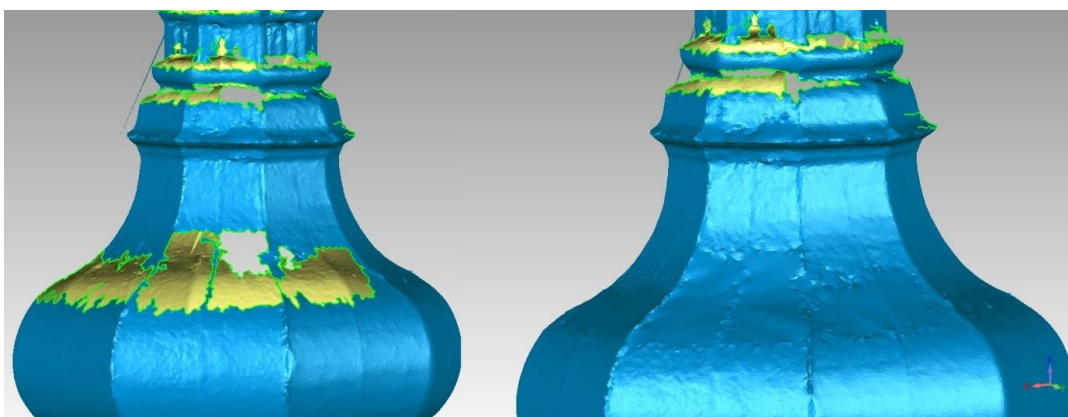
Obr. 21 Detaily horní části věže (zdroj: vlastní tvorba)

Geomagic studio nabízí automatický nástroj na vyplňování děr, kde se pouze zadají parametry děr, které mají být vyplněny ploškami. Na díry malých rozměrů funguje uspokojivě. Na velké plochy bez bodového pokrytí je téměř nepoužitelný. Na přiloženém obrázku 22 je patrná automatická detekce děr. Díra je označena červenou linií, a následné automatické vyplnění. Skutečnosti neodpovídající modelace je nejvíce znatelná ve vnitřní části zvoničky, kde zdánlivě připomíná rozteklý vosk.



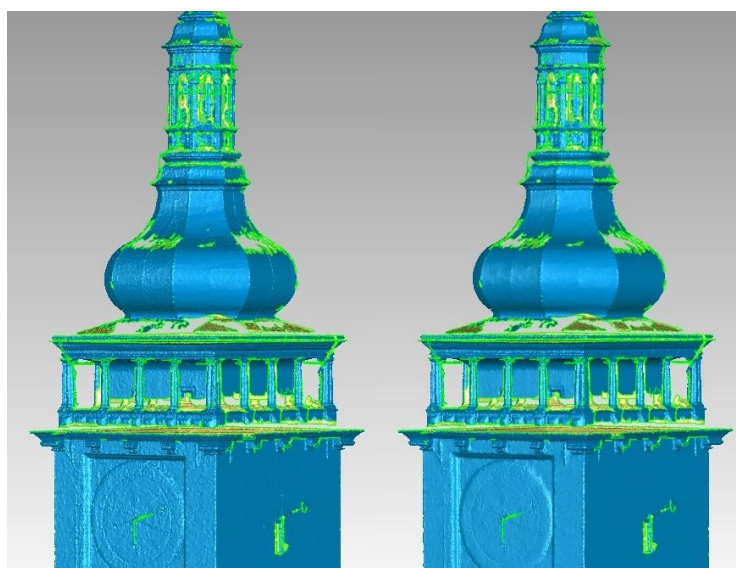
Obr. 22 Automatická aplikace vyplňování děr (zdroj: vlastní tvorba)

Bylo nutno tedy přistoupit k manuálnímu vyplňování nepokrytých míst. Zde program nabízí mnoho variant jak tohoto docílit. Je možno vyplnit celou oblast, část oblasti, pokud definujeme jednu jeho hranu, nebo pouze přemostění díry, kdy se definují obě hrany. Samotná záplata poté může být plochá, konvexní či konkávní. Nejčastěji byla volena varianta plochá vzhledem k nejrealističtějšímu vzhledu. Srovnání před výplní a po výplni je patrné z obrázku 23.



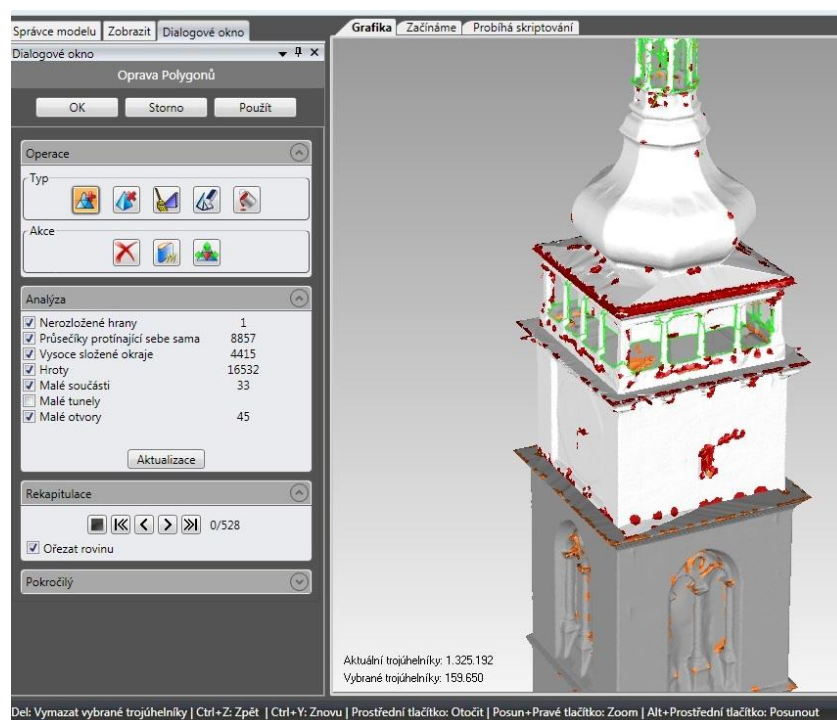
Obr. 23 Vyplnění děr, před výplní (vlevo), po výplni (vpravo) (zdroj: vlastní tvorba)

Program nabízí funkce i ke zlepšení vzhledu samotného modelu. Jednou z nich je vyhlazení modelu. Tato funkce redukuje šum trojúhelníků a je možné ji aplikovat na část nebo na celý model. Definují se parametry síla a úroveň vyhlazení. Při maximálních hodnotách parametrů přestává model odpovídat skutečnosti z důvodu velké generalizace detailů a hran. Použití tohoto nástroje na modelu je zobrazeno na obrázku 24.



Obr. 24 Funkce vyhlazení modelu před (vlevo), po (vpravo) (zdroj: vlastní tvorba)

Posledním nástrojem aplikovaným na model bylo snížení počtu trojúhelníků. To umožňuje funkce Snížení počtu polygonů. Zde je možno nastavit přesný počet finálních trojúhelníků či procentuální snížení. Dále se nastavuje priorita křivosti, kdy jsou zachovány hrany a křivé plochy a naopak snížen počet trojúhelníků v místech nečlenitých. Nakonec byl model zkontrolován automatickými opravy sítě, jak je uvedeno na obrázku 25. Tento nástroj vyhledá chybová území a opraví je. Území označená jako chybová jsou uvedena v obrázku. Tato funkce byla použita na model, který je připraven k promítání textur, proto je světlé barvy. Červená, kontrastující s bílou barvou názorněji poukazuje na nalezené chyby.

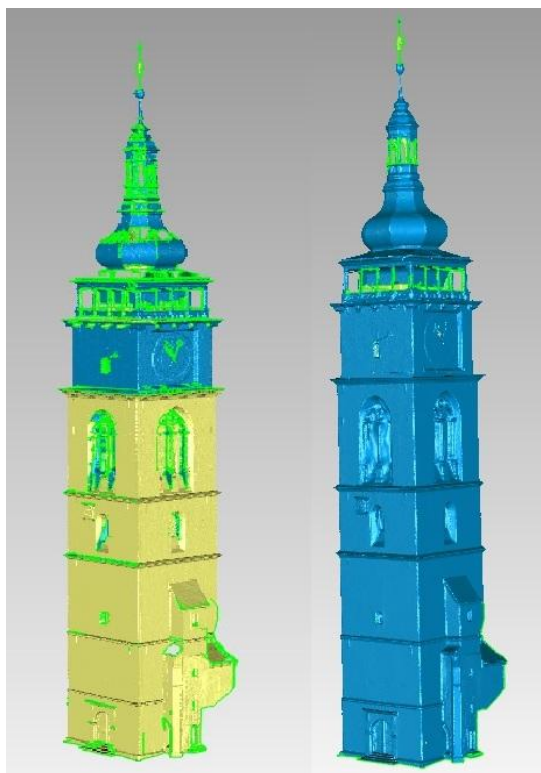


Obr. 25 Automatické opravy sítě (zdroj: vlastní tvorba)

U takto vytvořeného modelu byl celkový počet trojúhelníků zredukován na 1 211 326 trojúhelníků z výchozích 1 999 999 trojúhelníků aniž by byla porušena realita objektu. Proto si dovoluji tvrdit, že prvotní snížení bodů z počtu z přibližně 28 mil. na 9 mil. nemělo vliv na kvalitu výstupu vzhledem k velkému množství odmazaných bodů při následných úpravách modelu, kdy byla snaha model co nejvíce zjednodušit při zachování všech detailů. Program Geomagic Studio 2012 nabízí k využití mnoho dalších doplňujících nástrojů zvláště na lokální úpravu modelu. Tyto nástroje již ale nebyly použity na model věže vzhledem k plně dostačujícím uvedeným nástrojům.

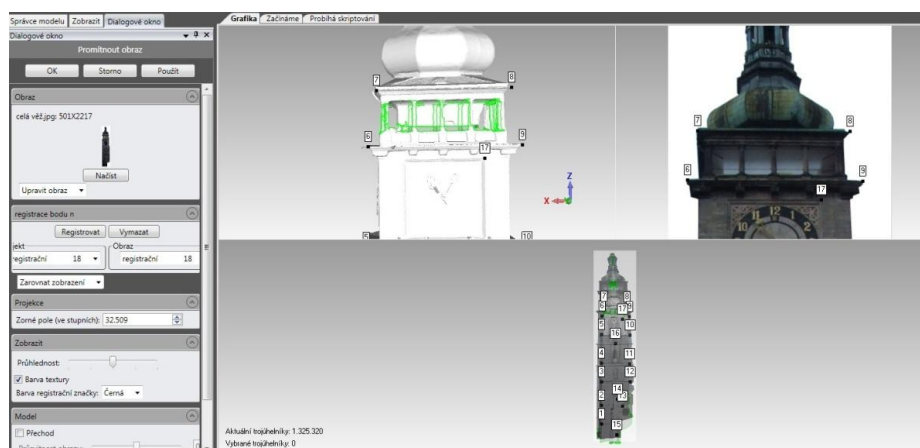
Jak již bylo naznačeno výše, při převodu mračna bodů na polygonovou síť byla špatně spočítána normála bodů v dolních dvou třetinách věže. Tato skutečnost geometrii

ani práci s modelem neovlivňuje. Dalo by se říct, že pro samotný model je toto zanedbatelné. Problém však nastal až s promítáním rastrových textur na objekt. Proto bylo přistoupeno k úpravě normál. Geomagic studio s tímto počítá a existuje nástroj na otočení normály plochy, nicméně tento nástroj je k dispozici až po zobrazení všech nástrojů, které byly při použití verze pro začínající uživatele skryty. Následující překážkou je nemožnost změnit orientaci ploch v modelu, kdy jsou polygony spojeny jak modrá část (správně orientovaná), tak část spodní (nesprávně orientovaná). Bylo tedy nutné horní část věže oddělit od spodní části. Toto se provedlo označením a následným vymazáním všech polygonů mezi částmi modelu. Tímto byl model rozdělen na dvě nezávislé části, z nichž tu nesprávně orientovanou bylo možné bez problémů správně orientovat. Vzniklé dvě části byly spojeny v jeden celek funkcí vyplnění děr. Takto hotový model věže zobrazen na obrázku 26, ve srovnání s původně vytvořeným modelem bez úprav, a přiložen v elektronické příloze 1 jako soubor s názvem *Model věže.wrp* vycházející z programu Geomagic Studio 2012 a také jako model optimalizovaný pro prohlížení v Acrobat Readeru. Tento je přiložen v elektronické příloze 2 se stejným názvem. Neúplné plochy v oblasti ochozu a zvonice věže nebyly domodelovány z důvodu velké členitosti prostředí. Výsledné plochy by neodpovídaly skutečnosti a již by se nejednalo o domodelování dat získaných z mračna bodů laserového skenování.



Obr. 26 Porovnání modelů bez úprav (vlevo), po úpravách (vpravo) (zdroj: vlastní tvorba)

Na takto vytvořený model je možno promítnout snímek, texturu, či model obarvit. Program toto všechno podporuje, pouze je nutné model připravit k promítání funkcí Generování textur. Tato funkce změní barvu modelu na bílou a na takto připravený model je již možno snímky aplikovat. Samotná aplikace probíhá standardně, kdy jsou voleny vlíčovací body na věži a na snímku, jak je patrné dle obrázku 27. Po navolení všech bodů je provedena registrace a model věže je přizpůsoben fotografii natočením podle všech os a změnou velikosti modelu. Zde bych rád podotknul, že ačkoli byla dosud práce s programem intuitivní a bezproblémová, promítání textur na model bylo slabým místem programu. Program funguje správně pouze tehdy, je-li k promítnutí použit pouze jeden snímek, což v případě věže nebylo možné. Vzhledem k husté zástavbě v okolí věže nebylo možno vyfotit věž v celé její podobě z každé strany. I na jednu stranu bylo použito několik snímků.



Obr. 27 Promítání snímků (zdroj: vlastní tvorba)

Celou věž se podařilo vyfotografovat pouze ze strany náměstí, tzn. východní stranu věže. Pokud je použito více snímků první jde aplikovat bez problému, nicméně druhý a další snímek při registraci geometricky rozhodí snímek již aplikovaný. Ve výsledku tak vznikají na přechodech snímků bílé hrany a místa bez pokrytí, ačkoli na toto místo byl snímek registrován. Nejvíce problémová místa se nacházejí opět ve velmi členité horní části věže, kde bylo vzhledem k výše zmíněnému, navzdory očekávání, od promítání snímků opuštěno. Na všechny světové strany věže kromě východní byl v dolní části a v části ciferníků hodin pro všechny strany, promítnut snímek z jižní strany věže. Tento snímek obsahoval největší část věže a jeho aplikace tak generovala nejméně problémových míst. Proto byl zvolen tento postup. Věž s promítnutými snímky je zobrazena na obrázku 28. Model s texturou snímku je přiložen v elektronické příloze 3 *Model věže s texturou .wrp* a také v optimalizaci pro program Acrobat Reader 3D.



Obr. 28 Model věže s promítnutými snímky (zdroj: vlastní tvorba)

ArcGIS 10

Společnost ESRI zaštiťující programy ArcGIS byla založena v roce 1969 ve Spojených státech amerických. Sídlo společnosti se nyní nachází ve městě Redlands. Tato firma se již od počátku zabývá vývojem řešení pro sběr, uložení a analýzu geografických informací. (ESRI 2012)

Řešení pro zpracování mračna bodů z dat pozemního laserového skeneru tento software bohužel neposkytuje. Tento program byl podroben testu z důvodu velké rozšířenosti mezi studenty geografie, aktivní znalosti práce s ním a jeho častým využíváním. Již předem tak byly tušeny nevalné výsledky testu a s těmito předpoklady bylo také s programem pracováno. K vizualizaci dat bylo zvoleno nejvhodnější prostředí programu ArcScene 10. Naměřené body bylo před samotným zobrazením nutno převést na formát shapefile pomocí nástroje ASCII 3D to features class, který se nachází v Toolboxu pod záložkou 3D analyst tools. Kromě zadávaných parametrů typu místo uložení byl zvolen jako výstupní prvek multipoint. Shapefile je uložena v elektronické příloze 5 jako *Věž_body.shp*

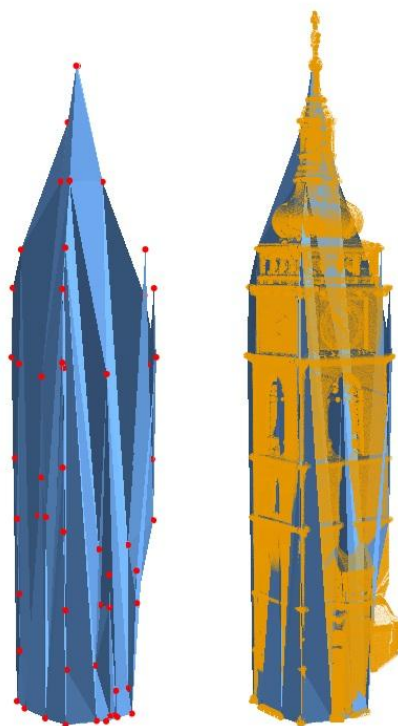
Po poměrně dlouhém časovém úseku byly, k mému překvapení, nahrány všechny body a pomocí rozhraní programu vizualizovány. Výsledek nahrání je na obr. 29. Nutno podotknout, že veškerá manipulace s body je v ArcScenu těžkopádná a s velkou časovou prodlevou.



Obr. 29 Zobrazené mračno bodů (zdroj: vlastní tvorba)

Po nahrání mračna bodů bylo přistoupeno k vytvoření TIN sítě (triangular irregular network, nepravidelná trojúhelníková síť) opět za využití všech bodů. Byl spuštěn nástroj Create TIN (TIN management, 3D analyst tools) a proběhlo zadání všech parametrů. Následovalo zhruba 6 hodinové propočítávání modelu, jehož výsledek byl zobrazen v rozhraní ArcMap, tedy pouze půdorys. Je tedy možné, že TIN byl úspěšně vytvořen. Do programu ArcScene se mi však tento model nikdy nepovedlo nahrát z důvodu opakovaného hroucení softwaru. Nepovažuji tedy toto za úspěšné vytvoření modelu. Lze předpokládat, že by práce s trojúhelníkovou sítí byla stejně nepohodlná jako v případě nahrávání mračna bodů.

I přes tyto komplikace nebylo od vytvoření modelu upuštěno. Hlavním důvodem pro pokračování bylo vyzkoušení zpracování bodů, kde jedna Z hodnota souřadnice připadala, či byla velmi podobná, více bodům. Bylo proto vybráno 63 významných bodů, stejným způsobem jako v případě velkého mračna bodů. Tyto byly nahrány a byl spuštěn nástroj Create TIN. Výsledek je zobrazen na obrázku 30 se zobrazenými významnými body a i s prolnutím mračna bodů věže. Také je přiložen v elektronické podobě – Příloha 6 s označením složky *Věž_TIN*. Tento model neodpovídá skutečnosti. Do určité míry je to způsobeno minimálním počtem zdrojových bodů. Program nepočítá s úpravou mračna bodů a tomu odpovídá i nástrojová vybavenost pro finální úpravu sítě.



Obr. 30 Model věže s významnými body (vlevo) a mračnem bodů věže (vpravo) (zdroj: vlastní tvorba)

Předpokládalo se, že program ArcGIS bude pro modelaci dat tohoto typu nevhodný, což se v praxi následně potvrdilo. Ačkoli program podporuje zpracování dat z leteckého skenování terénu, větší objem bodů vyžaduje vyšší hardwarové vybavení, jinak je enormně pomalý. Vybavenost nástroji pro úpravu sítí je v porovnání s konkurencí nesrovnatelně horší. Naopak firma ESRI disponuje velmi profesionální systém uživatelské podpory zahrnující informační fóra, vzdělávací programy, instruktážní videa. Výhodou je i české zastoupení v zemi.

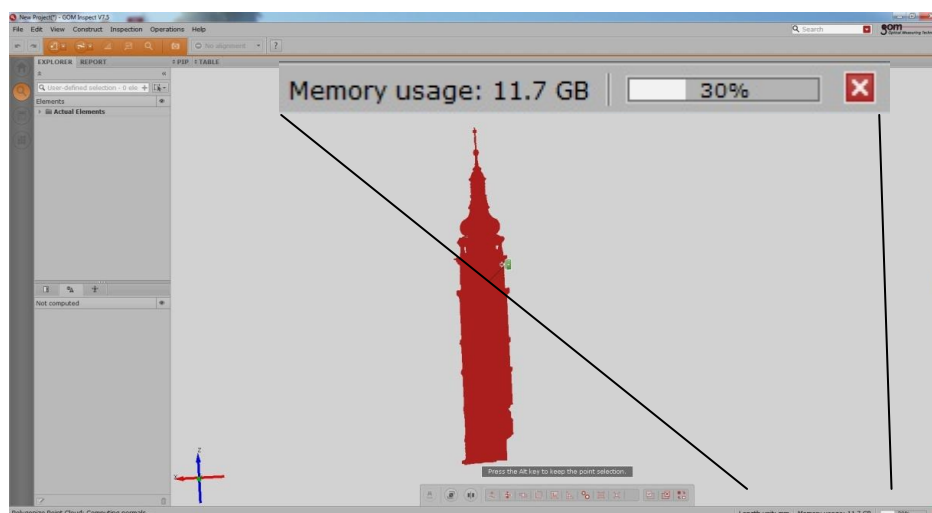
4.3 GOM Inspect V7.5

Tento program byl vyvinut firmou GOM (Gesellschaft für optische Messtechnik), která byla založena v roce 1990 jako odštěpné výzkumné pracoviště Technické university v německém Braunschweigu. Tato společnost se specializuje na vývoj optických měřících systému orientovaných na 3D digitalizaci a 3D souřadnicové měření. Po celém světě jsou tyto programy využívány v automobilovém, leteckém a spotřebním průmyslu. (GOM 2012)

Volně šiřitelná verze programu GOM Inspect Professional je označena GOM inspect V7.5. Tato verze je určena k nekomerčnímu využití. Původně se mělo jednat o prostřední článek mezi surovým mračnem bodů a polygonovou sítí určenou ke zpracování v programech platformy Autodesk. Tento software však nabízí plnohodnotný nástroj pro zpracování mračna bodů a modelování geometrických primitiv. Tento program lze označit za zjednodušenou verzi programů typu Autocad. Toto dokládá i podpora formátů vhodných právě pro zpracování v CAD rozhraní. Jediné, co nebylo v programu nalezeno, je promítání textur či jiná realistická vizualizace vytvořeného 3D modelu. Těmito funkcemi GOM Inspect V7.5 nedisponuje.

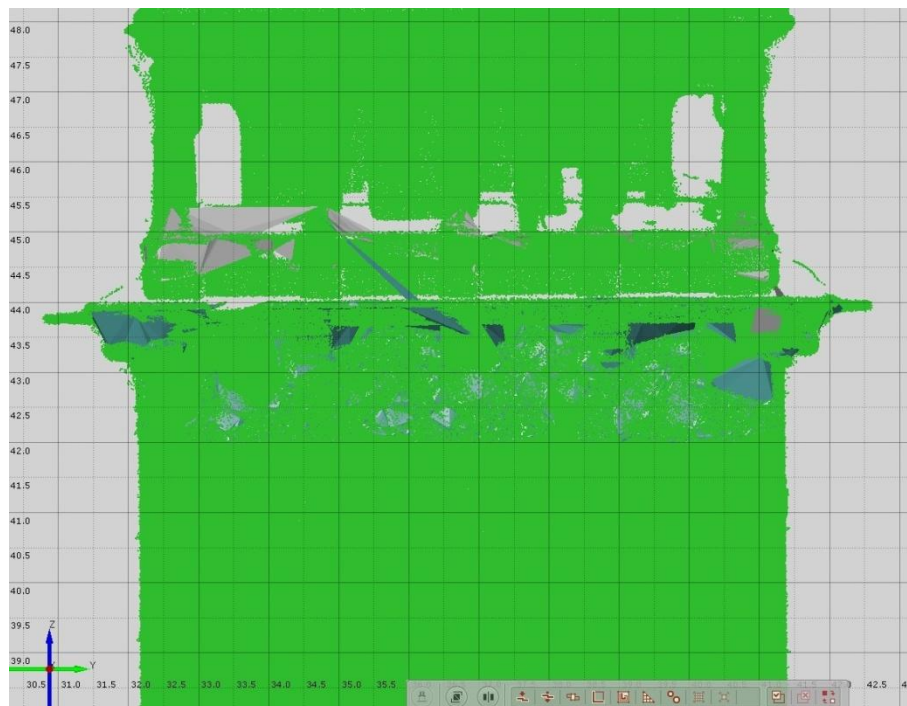
Po prvotním seznámení s programem bylo přistoupeno k načtení kompletního mračna bodů. Tato verze podporuje valnou většinu formátů. V mém případě byly nahrány body ve formátu ASCII XYZ bez intenzity odrazu. Zde se však objevil první vážný nedostatek programu. V aktivním okně programu je v dolní části uvedeno využití RAM paměti a lišta zobrazující procentuální postup činnosti. Právě využití RAM paměti je u tohoto programu enormní a je kladen důraz na vysoký výkon hardwaru. Během načítání mračna bodů přesáhla využívaná paměť hodnotu 3 GB z celkových 4 GB k dispozici. V této fázi (načteno 19% bodů) program přestal pracovat a objevila se chybová hláška nedostatek RAM paměti. Bylo nutné tedy přejít na počítač s vyšší disponibilní kapacitou krátkodobé paměti. Bylo využito počítače s procesorem Intel Core i7 3,07 GHz s instalovanou RAM pamětí 12 GB a operačním systémem Windows 7 Enterprise 64 bit.

Na tomto přístroji bylo načteno mračno bez problémů, ačkoli momentální využití paměti dosahovalo 8 GB. Následovalo tedy vytvoření polygonové sítě. Pro tvorbu byly vybrány všechny body z důvodu neumožnění programu redukovat počet bodů. Při tvorbě modelu z dat celé věže se postup zastavil na 30% z celkového postupu s nesmírným zatížením paměti 11,7 GB RAM, jak dokládá obrázek 31. Došlo ke zhroucení programu. Tyto úkony byly provedeny opakovaně, aby se vyloučila náhodná chyba.

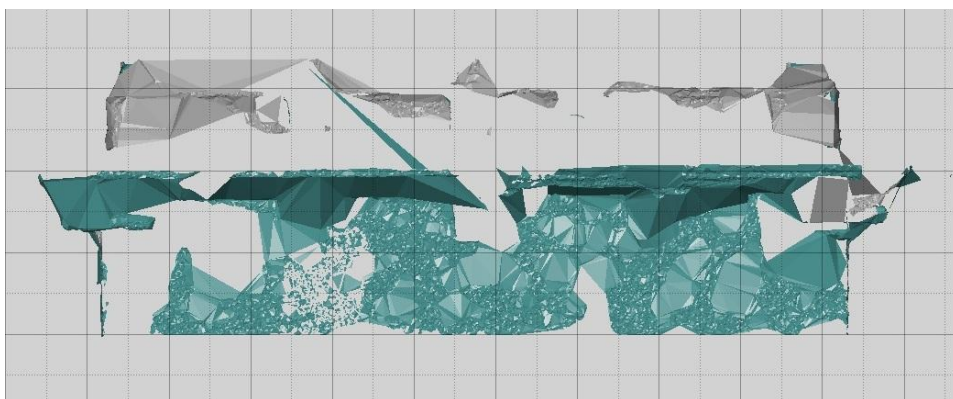


Obr. 31 Enormní využití paměti programem (zdroj: vlastní tvorba)

Po několikátém pokusu byla vybrána menší část zájmu, bylo opuštěno od tvorby modelu. Bohužel bez odlišného výsledku. Oblast zájmu byla proto stále zmenšována, až zabírala pouze římsu pod ochozem věže. Tato část věže, zobrazena na obrázku 32, byla následně úspěšně převedena na trojúhelníkovou síť, ilustrována na obrázku 33. Čas vytvoření této malé části se pohyboval kolem 43 minut. V porovnání s programem Geomagic Studio 2012 byla za stejný čas vytvořena síť celé věže s použitím třetinového obsahu bodů. V případě Inspectu byla pro síť využito všech bodů, avšak zahrnující pouze zlomkovou část věže.

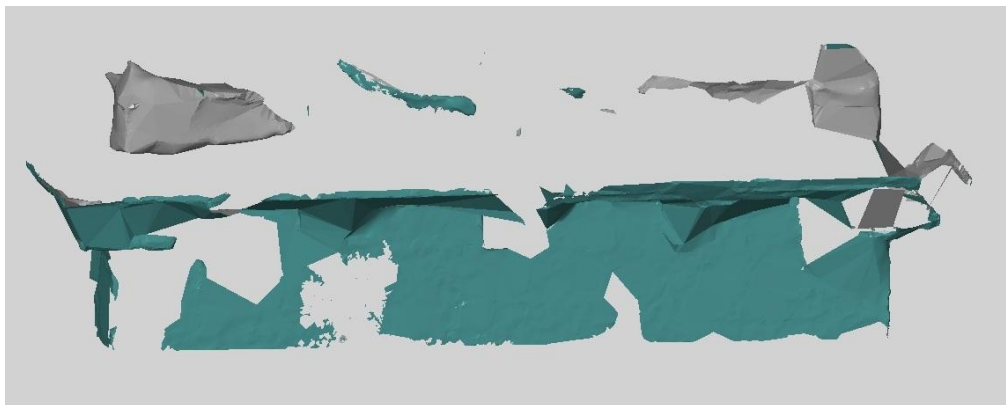


Obr. 32 Oblast zájmu tvoření polygonové sítě (zdroj: vlastní tvorba)

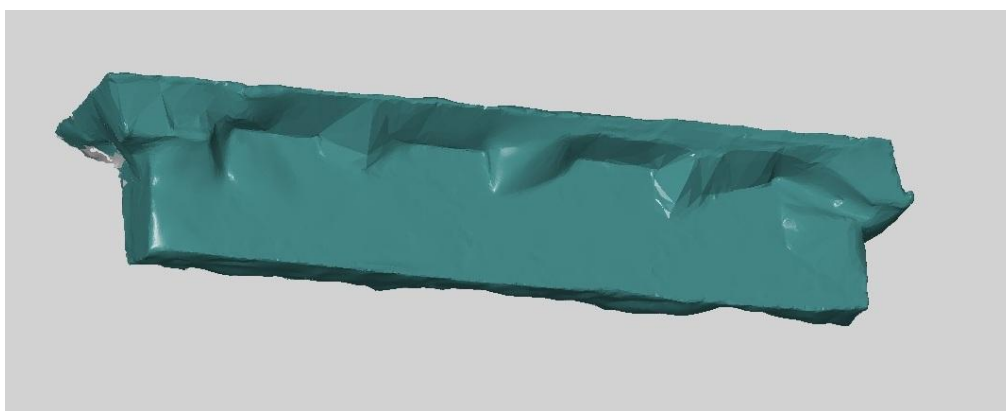


Obr. 33 Trojúhelníková síť římsy věže (zdroj: vlastní tvorba)

Tento model, zobrazující pouze malou část věže byl následně využit k otestování funkcí programu. Program nabízí standardní funkce typu zaplnění děr, vyhlazení sítě, eliminace počtu trojúhelníků a pod. Na tento model byla aplikována funkce vyhlazení sítě obr. 34 a následně vyplnění děr. Vyplněna byla pouze spodní část římsy vzhledem k malému počtu polygonů v horní části. Ta byla z modelu úplně vymazána. Výsledný model je zobrazen na obr. 35 a přiložen v elektronické podobě jako příloha 7 složka *Věž římsa*.



Obr. 34 Vyhlazená síť (zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 35 Výsledný model římsy Bílé věže (zdroj: vlastní tvorba)

Tento program nabízí slušné intuitivní a snadno ovladatelné prostředí pro tvorbu 3D digitálního modelu z dat laserového pozemního skeneru. V porovnání se Studiem Geomagic 2012 nabízí méně funkcí pro editaci dat a vstupních bodů a nepodporuje český jazyk. Nejedná se však o komerční program, nýbrž opensource. Za zmínku stojí velice propracovaná uživatelská podpora, kde nechybí kompletní návody doplněné instruktážními videi, které provedou ovládáním celého programu. K přístupu je však nutná registrace uživatele. Velmi velkou nevýhodou programu jsou nadměrné nároky na operační paměť. Bez dostatečné velikosti paměti je prakticky nemožné v tomto programu cokoli tvořit.

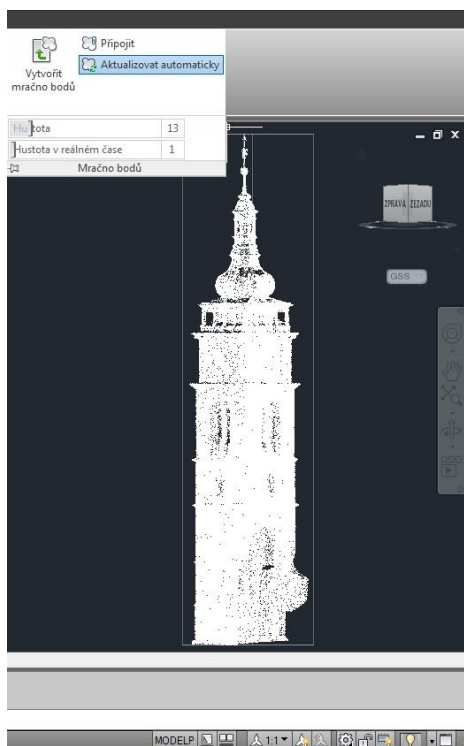
4.4 AUTODESK

Americká firma Autodesk je již od roku 1982, kdy uvedla na trh svojí vlajkovou loď v podobě programu Autocad, považována za lídra v oblasti 3D designu, architektury a inženýrství. Právě pro tato odvětví nabízí profesionální kompletní programová řešení, která jsou považována za špičku v této oblasti. Tyto programy jsou rozšířeny prakticky po celém světě. (Autodesk 2012)

V této oblasti jsou dominantní dvě velké platformy. První z nich je právě společnost Autodesk, druhou program Microstation od společnosti Bentley. Druhý zmiňovaný program se specializuje především na modelaci liniových vektorových modelů. V této práci je kladen důraz na vytváření modelů z nepravidelné trojúhelníkové sítě. Proto byly pro tvoření modelu použity programy Autodesku.

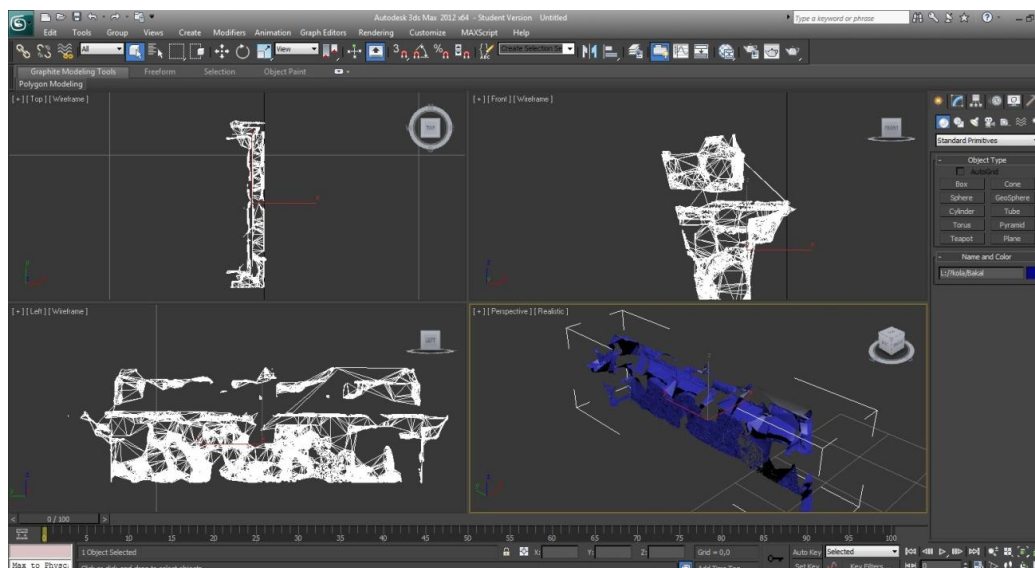
Tato platforma nabízí všechny vyvinuté programy ve studentské neomezené licenci v plné verzi. Stačí se pouze zaregistrovat, souhlasit s podmínkami a po úspěšné instalaci program autorizovat obdrženým kódem. Jediným omezením je varovná hláška programu, při otevírání výkresu, že právě tento výkres byl vytvořen v nekomerční verzi.

Pro samotné zpracování mračna bodů byl využit program Autocad 2013. Tato nejnovější verze avizuje snadnější práci s mračnem bodů. Oproti starším verzím tomu tak opravdu je. Mračno bodů lze připojit před prvotním připojením mračna si program sám převede mračno bodů z nejvíce používaných formátů do svého formátu .pcg. Takto vytvořené mračno se zobrazí na obrazovce. S tímto se aktivuje nabídka nástrojů k úpravě mračna. K mému překvapení však tato nabídka nenabízí víc, než pouze s jakou hustotou se mají body zobrazit a s jakou se budou zobrazovat při pohybu s modelem. Toto je patrné z obrázku 36. Pokud by byla načtena ještě intenzita, kterou program při přepočítávání, z mně neznámého důvodu, nenačetl byla by tato nabídka rozšířena ještě o barevnou vizualizaci mračna.



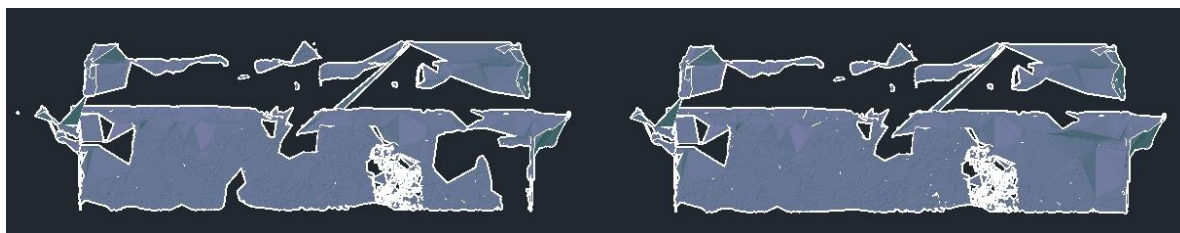
Obr. 36 Import mračna bodů a ovládací prvky (zdroj: vlastní tvorba)

Tímto však k mému údivu výčet funkcí na správu mračna bodů končí. Tato vlajková loď rodiny CAD nenabízí převod mračna bodů na polygonovou síť. Na rozdíl od jejích předchůdců se zde sice nemusí instalovat doplňkové nástroje pro zpracování bodů, ale to je jediný přínos. Po neúspěšné zkušenosti s tímto programem přešla pozornost k odlišnému programu rodiny Autodesk k designovému studiu 3ds Max. Tato verze ovšem neumí načíst mračno bodů. Proto byla použita část modelu vytvořená programem GOM Inspect V7.5. Načtení je patrné z obr. 37. Tato již vytvořená síť byla podrobena v programu zkušebním úpravám. Například v ostatních programech běžné vyplnění děr v polygonové síti bylo bez hlubokých znalostí programu nemožné.



Obr. 37 Načtení modelu římsy věže (zdroj: vlastní tvorba)

Tento nedostatek byl vyřešen až po konzultaci s odborníkem na tento program, kterému se povedlo díru zaplnit, avšak pracnou a časově náročnou úpravou jednotlivých vrcholů. Částečné zaplnění sítě je zobrazeno na obrázku 38.



Obr. 38 Částečné zaplnění trojúhelníkové sítě (zdroj: vlastní tvorba)

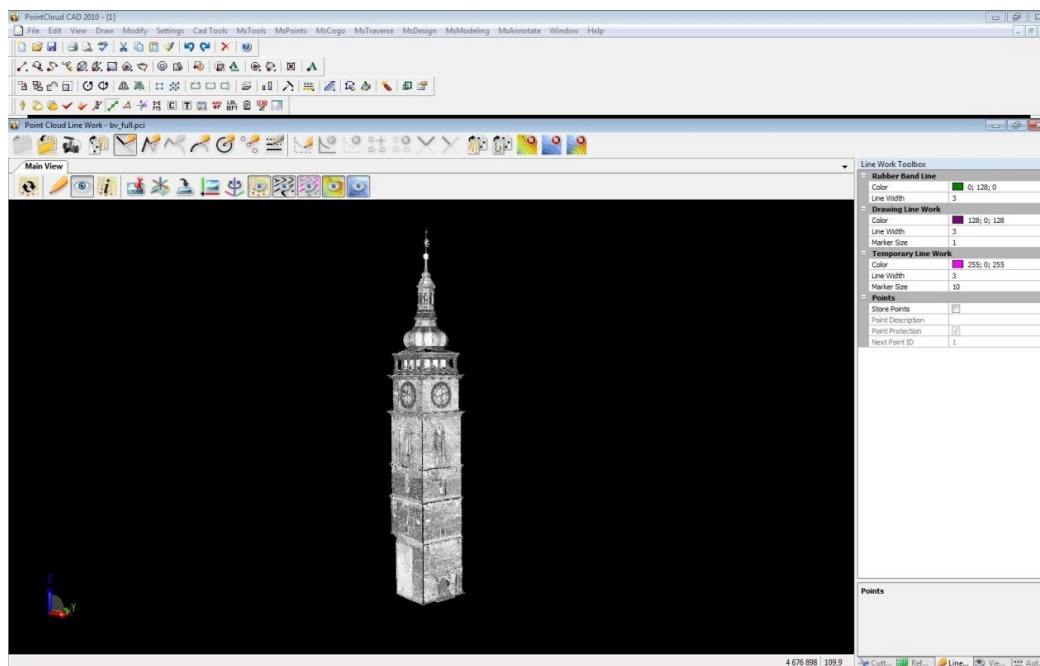
Toto byla u programu 3ds Max poslední činnost, která byla v jeho prostředí provedena, z důvodu nevyhovujících nástrojů pro tvorbu 3D modelu věže. Nutno podotknout, že práce s velkým množstvím dat je na zkušebním počítači, v obou programech svižná, bez výrazných prodlev, které by komplikovaly tvorbu. Ačkoli jsou produkty Autodesku považovány za špičku v oblasti zpracování dat pozemního laserového skenování mají ještě silné nedostatky. Je to právě ona profesionalita, které vděčí za uznání v oblasti odborné veřejnosti. Pro začátečníky je však tento program svojí složitostí velmi komplikovaný. Tuto skutečnost mírně zlehčuje česká lokace v případě AutoCadu. Uživatelská podpora programu je na velmi vysoké úrovni, odpovídající dlouholetému vývoji firmy. Lze jí přirovnat ke společnosti ESRI.

4.5 PointCloud CAD 2010

Tato kanadská firma se již pětadvacet let zabývá vývojem řešeními dle jejich titulní internetové strany pro "Objevování a mapování". Společnost se dvakrát umístila mezi stovkou nejrychleji rostoucích firem. Dle časopisu Profit. (Microsurvey 2012). Přepokládal jsem, že jimi vytvořený program PointCLOUDCAD 2010 bude vhodný pro vytvoření 3D modelu z naměřených dat pozemním laserovým skenerem, už pouze ze skutečnosti, že mračno bodů je obsaženo v názvu programu. K vyzkoušení programu mi posloužila plná verze programu, s licenčním omezením na třicet dnů. Po obvyklých instalačních krocích byl program úspěšně připraven k použití.

Při spuštění programu se automaticky otevře okno kde je možno vybrat si z posledních otevřených projektů, projekt založit či smazat. Po vyplnění tohoto dialogu se otevře následné okno s nastavením parametrů jako jsou jednotky projektu, souřadnicový systém a podobně. K načtení mračna bodů poslouží nástroj MS Tools > Point cloud. Formát mračna bodů, který mi byl poskytnut firmou GEOVAP, spol. s r.o. s příponou .xyz nešel načíst. A to i přesto, že se nachází mezi podporovanými formáty. Velkým plusem tohoto výrobce je nadstandardní podpora a péče o zákazníka. Druhý den po registraci, která je nutná k bezplatnému využití programu mě kontaktoval pan Bohumír Cochlar s firmy GEOPEN s.r.o., která se mimo jiné zabývá distribucí produktů Microsurvey pro Česko. Této podpory jsem využil a s přesměrováním na pana Briana Slomana přímo v mateřské firmě, byl problém nekompatibility dat vyřešen. Z výchozího formátu byl jimi převeden na formát .pci plně softwarem podporovaným.

Takto upravený soubor již šlo bez problémů nahrát do aplikace Point Cloud, jak je patrné z obrázku 39. Právě tato Aplikace lze využít jako slušný prohlížeč, avšak veškerá editace mračna bodů není možná.



Obr. 39 Zobrazené mračno bodů v prostředí PointCloud CAD 2010 (zdroj: vlastní tvorba)

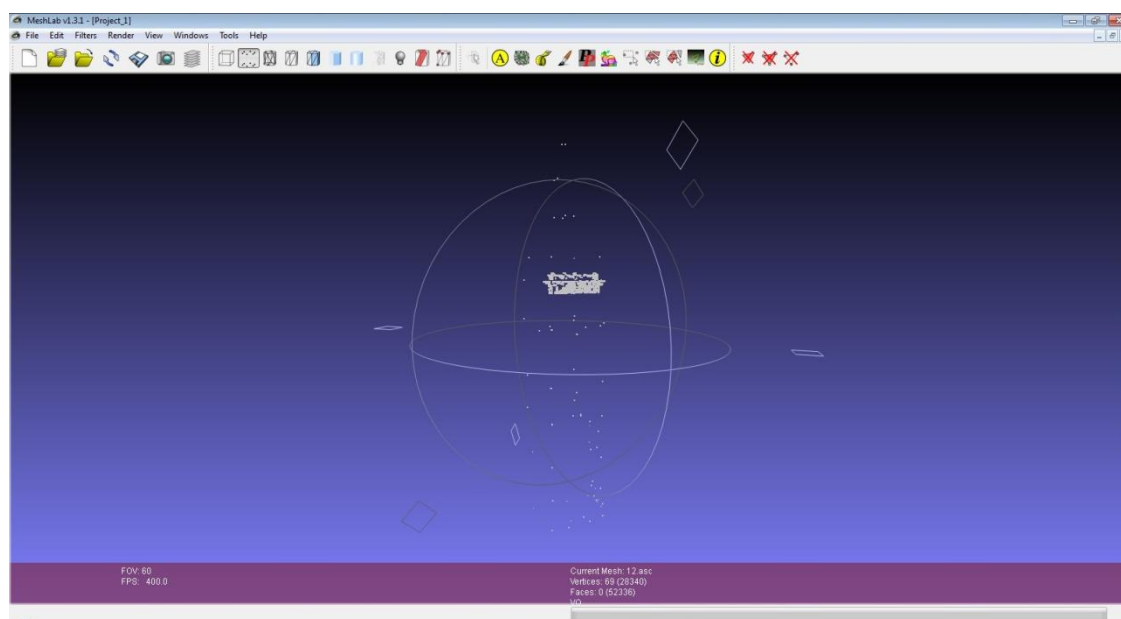
Mračno bodů lze použít jako model k překreslení a vytvoření tak téměř drátového modelu, ale práce s tímto je velmi obtížná a pracná, každá linie musí být nakreslena ručně, neexistuje nástroj na rozpoznávání hran. Chybí snapping resp. přichytávání kurzoru na blízké body, v tomto případě, na body značící konce linií. Program podporuje pouze snapping na body mračna, který je při velké hustotě bodů spíše na škodu. Konečné body nelze editovat - nutno pokaždé smazat celou linii. Ve výsledku je model velmi nepřesný. Snaha o převedení na trojúhelníkovou síť byla také neúspěšná. Při každém pokusu bylo zobrazeno chybové okno, které oznamovalo, že licence umožňuje převod pouze 1 mil. bodů. Proto bylo shlédnuto instruktážní video, které se převodem na TIN zabývá. Pracovníkovi se zobrazilo totožné okno, avšak vzhledem k tomu, že pracoval s 409 tisíci body, model byl bez problémů vyřešen. Z důvodů výše uvedených komplikací bylo upuštěno od vytváření 3D modelu věže v tomto programu. Program není vhodný pro tuto činnost.

Tento program je vhodný především pro zpracování dat určených k tvorbě digitálního modelu terénu či povrchu a následnou editaci příp. vizualizaci. Pro nezkušené uživatele je překážkou neintuitivní ovládání. Předpokládá se znalost ovládání programu přes příkazový řádek. Program je kompletně v anglickém jazyce. Výhodou programu je propracovaný systém uživatelské podpory.

4.6 Meshlab v1.3.1

Tento program provází poměrně krátká historie. Vývoj začal v roce 2005 jako studentská práce na universitě v Italské Pise. Tento projekt se dále rozvíjel a jeho vývoj trvá i do dnešních dnů. Jedná se o volně přístupný program, který poskytuje soubor nástrojů pro editaci, čištění, opravování a následnou kontrolu. (Meshlab 2012)

Program avizuje import všech dostupných formátů, od platform CAD po mračna bodů v ASCII či XYZ. Z mé zkušenosti vyplývá, že tomu tak není. Opakovaně se mi nepovedlo do programu nahrát kompletní mračno bodů jak ve formátu XYZ + intenzita odrazu, XYZ bez intenzity, či ve formátu ASCII. Vždy se objevila chybová hláška. Po přečtení literatury k programu je uváděno omezení mračna bodů 10 miliony body. Pravdou zůstává, že 63 významných bodů se do programu nahrát podařilo. Tento počet bodů je však velmi malý na to, aby byla vytvořena trojúhelníková síť. Stejně tak se podařilo nahrát část modelu věže zobrazující římsu. Vše je vyobrazeno na obrázku 40.



Obr. 40 Vyobrazené významné body s římsou (zdroj: vlastní tvorba)

Program nabízí nepřehledné množství filtrů a příkazů na zpracování mračna bodů. Prakticky nepoužívá ikony, v převážné většině se jedná o rozbalovací seznamy příkazů, které mají často nic neříkající názvy. Podpora programu existuje ovšem ne zdaleka tak propracovaná, jako u ostatních programů. Jedná se prakticky o návod ve formátu s příponou .pdf a informační fórum. Program je pouze v kompletním anglickém rozhraní.

4.7 Hodnocení přesnosti modelu

Bylo provedeno měření přesnosti modelu, na základě porovnání stávajícího skutečného stavu, modelových hodnot a hodnot z projektové dokumentace věže. Všechny naměřené hodnoty jsou soustředěny, díky své velikosti do příloh. V přílohách se nachází pět souborů. Příloha 8, zobrazuje schéma měření věže pomocí pásma, naměřené hodnoty srovnané s modelovými. Příloha 9, zobrazuje také schéma měření, ovšem zde se jedná o porovnání modelových vzdáleností se vzdálenostmi naměřenými ve stavební dokumentaci. V příloze 10 je schéma s označením měřených vzdáleností, na které je odkazováno v příloze 11 a v příloze 12, kde se jedná o tabulky s přímo naměřenými hodnotami.

Z prvního srovnání modelu se skutečností vychází velmi malé rozdíly v měření, směrodatná odchylka nabývá hodnoty v délce 0,05 m a v měření šířky (pokud bylo možno) 0,02 m. Průměrná odchylka je v obou případech 0,01 m. Což odpovídá 3. třídě přesnosti dle ČÚZK 2012. Takto malé odchylky je možno vysvětlit malým počtem měření, minimu vertikálních měření a především měřeními, kde je měřena jednoznačná část objektu, která se snadno identifikuje jak za reálných podmínek, tak na modelu.

Při porovnávání vytvořeného modelu s papírovou stavební dokumentací, však hodnoty nedosahovaly tak malých odchylek jako ve srovnávání se skutečností. Zde bych si však dovolil připomínku, která je podložena i měřeními, kdy stavební dokumentace neodpovídá naměřeným reálným hodnotám. Tudíž k nejednoznačnosti odečtení modelových hodnot, nepřesnosti pásmového měření, je vhodné zahrnout i nepřesnost stavební dokumentace. Tato nepřesnost je však jednoznačně nejmenší než ve zmiňovaných zbylých dvou případech. Nejpatrněji je poukazovaná chyba patrná v měření rozteče sloupů na ochozu. Dokumentovaná rozteč je 1,55 m, zatímco skutečná 1,61 m. Všechny měřené hodnoty je možné si prohlédnout v příloze 11 a 12.

Průměrná směrodatná odchylka je ve druhém případě větší, dosahuje hodnoty v šířce 0,09 m a v hodnotě výšky dokonce 0,37 m. Můžeme říct, že čím vyšší měřená výška, tím vyšší odchylka. Zdaleka největší hodnoty nabyla odchylka celé výšky věže. Výška odečtená z plánu je 65,80 m. Modelová hodnota je o celý metr vyšší. Jedním z důvodů je nejspíše chybná poloha cibule věže, avšak rozhodně se nejedná o metr. Tento rozdíl je možno přikládat stavebním úpravám chodníku v minulých letech, který není zanesen na plánech z roku 1983. Při těchto úpravách byl chodník zvednut o desítky centimetrů.

KAPITOLA 5

Diskuze

Ve světě moderních technologií se vyskytuje řada programů vhodných pro zpracování dat pocházejících z dat laserového pozemního skenování. Ovšem i mezi nimi lze nalézt množství rozdílů. Samotnou velkou skupinou jsou programy, které dokážou mračno bodů zobrazit a dále vizualizovat, ale již nenabízejí jakoukoli jinou editaci mračna. Tyto programy jsou většinou freeware. Jedněmi ze zástupců jsou např. Fugro viewer, UvaCAD free viewer. Svoje prohlížečské verze nabízejí i výrobci softwarů vhodných pro editaci např. společnost Leica. Z volných programů pro samotnou editaci se na trhu nachází program GOM Inspect a Meshlab. Zvláště první ze jmenovaných má předpoklady plně zastoupit licenčně šířené profesionální programy. Práce s tímto rozhraní je však hardwarově velice náročná, jak je uvedeno v praktické části testování programu.

Samotné kategorii se nachází programy komerční. Tyto programy jsou většinou dodávány se samotnými přístroji, jako v případě Leica Cyclone dodávaný ke skenerům Leica, či Polyworks se skenery OPTECH. V těchto případech výstupní formát dat ze skeneru plně koresponduje se softwarovým rozhraním, čímž odpadají transformace a převody formátů do formátů jiných. Tyto programy se vyznačují schopností zpracování dat ze surových dat až po výsledný model. Poslední skupinou jsou programy, které jsou dodávány samostatně a zajišťují také plnohodnotné zpracování mračna bodů. Jedná se o programy Geomagic Studio 2012 a Point CloudCAD 2010. Druhý zmiňovaný program je specializován na modelaci terénu. Ojedinelou skupinou je platforma Autodesk a všechny touto firmou distribuované programy např. AutoCAD či 3dsMax. Tyto programy neumožňují vytvoření polygonové sítě z mračna bodů, jako programy výše jmenované. Nicméně pokud je polygonová síť vytvořena v jiném programu, např. zmiňovaný GOM Inspect, nabízejí téměř bezkonkurenční zpracování mračna bodů. Stejný postup je volený i v článku Pracujeme s daty ze 3d scanneru v 3ds Max a Autodesk Showcase (Fořt 2012). Profesionální výstup vysoké kvality je ovšem vykoupen náročností ovládání programu, které je z testovaných programů nejsložitější.

Na předních příčkách testovaných programů se tedy umístily programy dva. První, ve kterém byl vytvořen samotný model věže, z důvodu množství podporovaných formátů, jednoduchosti a intuitivnosti ovládání, českému rozhraní, solidní uživatelské podpoře.

Zápory tohoto programu je pouze 30 denní zkušební plná verze licence, kde vydavatel neumožňuje prodloužení zkušební licence ani nenabízí studentské verze, jako v případě Autodesku a mírně kostrbaté práci s texturami. Na pomyslném druhém místě, bych i přes vytvoření pouze malé části modelu uvedl program GOM Inspect, který i přes přehnané nároky na výkon počítače dokázal vytvořit to, co se úspěšně povedlo pouze v několika málo programech. Nutno připomenout, že se jedná o volně dostupný program. Pokud by byly pominuty ony vysoké nároky dovoluji si tvrdit, že v tomto rozhraní by byl vytvořen model téměř totožný s komerční verzí Geomagic Studia. Předpoklady a funkce tohoto programu tomu plně nasvědčují. Tabulka porovnávající všechny programy je přiložená v příloze 13.

Jak uvádí Pavelka k programu Geomagic Studio: „Jedná se o rozšířený software, vhodný pro zpracování nerovných, členitých objektů. Obsahuje velké množství propracovaných funkcí na vyhlazení mračna bodů, filtraci chybných bodů, umožňuje práci se sítí a vytvoření 3D modelu.“ Pavelka tento text uzavírá: „Na rozdíl od jiných je v něm práce intuitivní a dá se rychle naučit.“ (Pavelka, Hodač 2008, s. 145) Tato citace může být z mé strany pouze potvrzena. Během tvoření modelu se nevyskytl vážnější problém, který by nešel vyřešit. Když už bylo nutno hledat řešení komplikací instruktážní videa byla velmi nápomocná. Hlavní z činností při tvorbě modelu, byla problematika zaplnění děr. Vzhledem k nevalné kvalitě automatické verzi nástroje, bylo nutno tyto vzniklé díry zaplnit manuálně. Jedná se často o velmi titěrnou, časově náročnou práci. Další závažnější problém byl v podobě špatně vypočítaných normál stěn modelu. Toto však bylo po prostudování podporné dokumentace zdárně vyřešeno. Blíže jsou činnosti popsány v samotné tvorbě modelu. Mimo výše uvedených záporů v podobě omezené licence a promítání textur by ještě stálo za zmínění, že omezené licenční podmínky neumožňují export do jiných formátů soboru, než je .wrp, což je formát podporovaný pouze tímto softwarem. Pro potřeby prohlížení modelu však umožňuje export do Acrobat Reader 3D.

Samotný 3D model Bílé věže v Hradci Králové byl vytvořen právě v programu Geomagic studio 2012. Přesnosti tohoto modelu v porovnání se skutečností nabývají minimálních odchylek v řádech jednotek, v ojedinělých případech desítek, centimetrů. Valná většina měření spadá do 3. třídy přesnosti dle ČUZK 2012. Jenom pro představu, měření s touto přesností je možno použít pro zápis do katastrální mapy. Nutno však zdůraznit, že vypovídající hodnotu má model pouze v oblastech s dostatečným pokryvem měřených bodů. V místech, bez pokryvu, např. v okolí zvonice a ve vyšších částech věže, je přesné měření ztíženo, místy prakticky vyloučeno.

Závěr

Hlavními cíli práce bylo představení této moderní technologie širší veřejnosti, srovnání programů pro 3D modelaci, vytvoření modelu a jeho srovnání se skutečností. V první, rešeršní části je možno získat informace o historii, fyzikálních vlastnostech a principech laserového skenování. V druhé části jsou popsány srovnávané programy i samotná tvorba 3D modelu Bílé věže v Hradci Králové. V neposlední části práce je uveden způsob zaměření věže, porovnání věže se skutečností a zhodnocení přesnosti vytvořeného modelu.

Tématem této práce, srovnáváním programů, se zabývalo pouze minimum lidí. Z publikací lze jmenovat Fotogrammetrie 3 (Pavelka, Hodač, 2008), kde lze nalézt výčet softwarů vhodných pro zpracování dat z laserového skenování s velmi stručným popisem funkcí. Hlavní náplní mé práce bylo tedy pořizování programů, seznámení se s jejich funkcí, hledání dokumentace k tomuto, sledování instruktážních videí, pročítání informačních zájmových fór, korespondence s uživatelskou podporou. Poté následovalo samostatné vytvoření 3D modelu, které je v práci podrobně popsáno.

Při restauraci historických budov je nutné pořídit podrobnou dokumentaci. Požadavky památkářů zahrnují jak informace o současném stavu budov, tak informace pro o pracích nutných pro opravu a rekonstrukci. Ve výsledku je tedy nutné poskytnout rozsáhlejší soubory dat, než je nutné k provedení samotných prací. Všechny tyto požadavky je však možno splnit s nasazením 3D laserových skenerů (Kašpar et. al., 2010)

Přesně toto vystihuje i cíl naší práce. Vzhledem k prvotnímu setkání se se softwarovou technologií na zpracování dat z laserového skeneru, zabral výběr vhodného prostředí a tvorba modelu věže nesrovnatelně více času, než který by bylo nutné vynaložit v případě opětovné tvorby. Nyní pokud by se měl sečíst čas od prvního postavení stativu se skenerem po výsledný hotový model věže, dovoluji si tvrdit, že by se výsledné číslo pohybovalo v rozmezí čtyř až pěti pracovních dnů. Ve srovnání s geodetickou metodou, kde je přesnost a hlavně hustota zaměřených bodů neporovnatelně menší, je metoda laserového 3D skenování ve velmi velké výhodě. Výstupem mračna bodů nemusí být pouze 3D model, ale například fotoplán.

Byl tedy vytvořen 3D model Bílé věže v Hradci Králové z dat laserového pozemního skenování, který by bylo možno, díky jeho přesnosti, využít pro stavební dokumentaci či zobrazování modelu skutečnosti. 3D laserové pozemní skenování je vhodnou metodou pro dokumentaci budov.

SEZNAM ZDROJŮ INFORMACÍ

AUTODESK. 2012. *Company*. [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://usa.autodesk.com/company/>

AUTODESK. 2012. *System requirements*. [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: http://images.autodesk.com/emea_apac_main/files/1328723489-autocad_2013_system_requirements_en_final.pdf

MESHLAB. 2012. *Documentation*. [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.cy.ac.cy/system/files/MeshLab%20Documentation1.pdf>

BÍLÁ VĚŽ. 2012. *Historie Bílé věže*. [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.bilavez.cz/historie.html>

ČZUK. 2012. *Struktura a výměnný formát digitální katastrální mapy a souboru popisných informací katastru nemovitostí České republiky a dat BPEJ verze 1.3*. Praha. Ze dne 24. listopadu 1999. Dostupné z: <http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=998&MENUID=10376&AKCE=DOC:10-STARYVF1>

ESRI. 2012. *About ESRI*. [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.esri.com/about-esri/index.html>

ESRI. 2012. *System requirements*. [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop/system-requirements.html>

GEOMAGIC. 2012. *About as*. [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.geomagic.com/en/about/geomagic/overview>

GEOVAP, spol. s.r.o. 2012. *Laserové skenování – 3D Vizualizace*. Pardubice, 2012. Dostupné z: <http://www.quantum3d.cz/website/topmenu/staticke-skenovani/>

GOM. 2012. *Company profile*. [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.gom.com/company/company-profile.html>

FOŘT, P. AUTODESKCLUB. 2012. *Pracujeme s daty ze 3d scanneru v 3ds Max a Autodesk Showcase*. 2012. Dostupné z: <http://www.autodeskclub.cz/clanek/5815-pracujeme-s-daty-ze-3d-scanneru-v-3ds-max-a-autodesk-showcase>

IVO TURISTA. 2011. *Bílá věž v Hradci Králové*. [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.ivo-turista.unas.cz/bilavez.htm>

KAŠPAR, M., POSPÍŠIL, J., ŠTRONER, M., KŘEMEN, T., TEJKAL, M. 2003. *Laserové skenovací systémy ve stavebnictví*. Vyd. 1. Hradec Králové: Vega, 2003, 111 s. ISBN 80-900-8603-9

KOSKA, B., KŘEMEN, T., POSPÍŠIL, J. 2009. *Dokumentace architektonických památek s využitím laserového skenování*. Katedra speciální geodézie, Fakulta stavební: ČVUT v Praze, 2009, s. 11. Dostupné z: <http://k154.fsv.cvut.cz/~koska/publikace/publikace.php>

LUHMANN, T. (Hrsg). 2002. *Photogrammetrie und Laserscanning: Anwendung für As-Built-Dokumentation und Facility Management*. Vyd 1. Heidelberg: Wichmann, 2002. ISBN 38-790-7390-2.

MAPY.CZ. 2012. *Hradec Králové*. [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/#x=15.832599&y=50.209365&z=15>

MESHLAB. 2012. *MeshLab*. [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://meshlab.sourceforge.net/>

MICROSURVEY. 2012. Instruktažní video: Generate surface. 2011. Dostupné z: <http://www.microsurvey.com/downloads/movies/moviespclw/pclw-generate-surface.htm>

MICROSURVEY. 2012. *Company index*. [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.microsurvey.com/index.htm>

PAVELKA, K., HODAČ, J. 2008. *Fotogrammetrie 3: digitální metody a laserové skenování*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 2008, 190 s. ISBN 978-80-01-03978-6.

POSPÍŠILOVÁ, J. 2009. *Příprava vzorových úloh pro předmět Laserové skenování*. Praha, 2009. 117 s. Diplomová práce. ČVÚT. Vedoucí práce Ing. Tomáš Křemen, PhD.

RIEGL. 2012. *Reflection*. [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.riegl.com/index.htm>

TAKASE, Y., SASAKI, Y., NAKAGAWA, M., SHIZIMU, M., YAMADA, O., IZUMI, T., SHIBASAKI, R., 2011. Reconstruction with laser scanning and 3D visualization of roman monuments and remains in tyre, lebanon. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2011, roč. 34, č. 5, s. 325-329. Dostupné z: http://www.commission5.isprs.org/wg4/workshop_ancona/proceedings/79.pdf

VRBOVÁ, M. 1994. *Lasery a moderní optika - oborová encyklopedie*. Praha: Prometheus, 1994, 474 s. ISBN 80-858-4956-9.

Odkazy ke stažení v práci použitých programů

Geomagic studio 2012

<http://www.geomagic.com/en/products/studio/overview/>

ArcGIS 10

<http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis10/index.html>

PointCloud CAD 2010

<http://www.microsurvey.com/products/pointcloud/>

Meshlab

<http://meshlab.sourceforge.net/>

Produkty Autodesku

<http://www.autodesk.cz/adsk/servlet/pc/index?siteID=551663&id=14681055>

GOM Inspect

<http://www.gom.com/3d-software/gom-inspect.html>

SEZNAM POUŽITÝCH PŘÍLOH

Seznam tištěných příloh

- Příloha 1 – Model věže
- Příloha 2 – Model věže s texturou
- Příloha 3 – Porovnání modelu se skutečností
- Příloha 4 – Porovnání modelu se stavební dokumentací
- Příloha 5 – Schéma měřených vzdáleností a jejich označení
- Příloha 6 – Tabulka měřených hodnot souhrnná
- Příloha 7 – Tabulka měřených hodnot po pohledech
- Příloha 8 – Tabulka srovnávaných programů

Seznam elektronických příloh

- Příloha 1 – Model věže.wrp
- Příloha 2 – Model věže.pdf
- Příloha 3 – Model věže s texturou.wrp
- Příloha 4 – Model věže s texturou.wrp
- Příloha 5 – Věž_body.shp
- Příloha 6 – Věž_TIN (souborová složka)
- Příloha 7 – Věž římsa (souborová složka)
- Příloha 8 – Porovnání modelu se skutečností.jpg
- Příloha 9 – Porovnání modelu se stavební dokumentací.jpg
- Příloha 10 – Schéma měřených vzdáleností a jejich označení.jpg
- Příloha 11 – Tabulka měřených hodnot souhrnná.pdf
- Příloha 12 – Tabulka měřených hodnot po pohledech.pdf
- Příloha 13 – Tabulka srovnávaných programů.pdf